

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **ZAVRŠNI RAD**

**Luka Premužić**

Zagreb, 2017.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Krešimiru Grilecu i asistentu Ivanu Primorcu, mag.ing.mech. na korisnim savjetima i odvojenom vremenu tokom izrade završnog rada.

Luka Premužić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomске ispite  
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:  
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo  
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **LUKA PREMUŽIĆ** Mat. br.: 0035193181

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **TROŠENJE ZUPČANIK A KRANA ZA KAMERU**

Naslov rada na engleskom jeziku: **WEAR OF CAMERA CRANE (JIMMY JIB) GEARS**

Opis zadatka:

Snimanje statičnom kamerom je sve rjeđe te se razvojem filmske i televizijske kamere razvija i oprema koja omogućuje njeno kretanje. Jedan od načina kretanja kamere je i primjena kрана koji omogućuje pokret kamere u sve tri prostorne dimenzije. Da bi se takvo kretanje ostvarilo mora postojati odgovarajući mehanizam koji to omogućuje.

U ovom radu je potrebno:

- 1) Navesti glavne dijelove kрана i opisati način njegovog rada.
- 2) Identificirati dijelove prijenosnog mehanizma kрана koji su izloženi procesu trošenja.
- 3) Pronaći primjere trošenja zupčanika koji omogućuju kretanje kрана.
- 4) Identificirati materijal od kojeg je načinjen trošeni dio.
- 5) Provesti prateća ispitivanja te dati zaključak.

Zadatak zadan:

30. studenog 2016.

Zadatak zadan:

Prof.dr.sc. Krešimir Grilec

Rok predaje rada:

1. rok: 24. veljače 2017.
2. rok (izvanredni): 28. lipnja 2017.
3. rok: 22. rujna 2017.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 27.2. - 03.03. 2017.
2. rok (izvanredni): 30. 06. 2017.
3. rok: 25.9. - 29. 09. 2017.

v.d. predsjednika Povjerenstva:

Izv. prof. dr. sc. Branko Bauer

**SADRŽAJ**

SADRŽAJ.....	I
POPIS SLIKA.....	III
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS OZNAKA I KRATICA.....	V
SADRŽAJ.....	VI
SUMMARY.....	VII
1. UVOD .....	1
1.1. Izum fotoaparata.....	1
1.2. Pokretne slike .....	5
1.3. Kranovi za kamere .....	17
2. EKSPERIMENTALNI DIO.....	23
2.1. Demontaža zupčanika .....	26
2.2. Analiza tragova trošenja na stereomikroskopu .....	29
2.3. Priprema uzorka .....	32
2.4. Kemijska analiza .....	34
2.5. Mjerenje tvrdoće .....	40
2.6. Metalografska analiza .....	42
3. ZAKLJUČAK .....	45
4. LITERATURA.....	46
5. PRILOZI.....	48

## POPIS SLIKA

Slika 1. Princip rada „camere obscurae“ [1] .....	1
Slika 2. „Camera obscura“ izrađena od kartonske kutije [2] .....	2
Slika 3. Prva poznata fotografija u povijesti, “Pogled s prozora” 1826. [2] .....	2
Slika 4. Skica principa rada ljudskog oka Leonarda da Vincija [3] .....	3
Slika 5. Ilustracija korištenja "camere lucide" [4] .....	4
Slika 6. „Traumatrop“ [6] .....	5
Slika 7. Fotografski „revolver“ [5] .....	6
Slika 8. Fotografska "puška" [5] .....	7
Slika 9. Konj u pokretu [5] .....	8
Slika 10. Prva filmska kamera [7] .....	9
Slika 11. Kinematoskop [8] .....	10
Slika 12. 35mm film korišten u kinematoskopu [8] .....	11
Slika 13. Bioskop [5] .....	12
Slika 14. Kinematograf [10] .....	13
Slika 15. Unutrašnjost kinematografa [10] ..	13
Slika 16. Scena iz filma „Izlazak radnika iz tvornice“ [10] .....	13
Slika 17. Prva Kodak kamera [11] .....	14
Slika 18. Aeroskop [13] .....	15
Slika 19. Britanski vojnici sa aeroskopom [14] .....	15
Slika 20. Prikaz upotrebe mehaničke televizije [15] .....	16
Slika 21. Prva električni televizijski prijemnik [16] .....	16
Slika 22. Kamera TK-41 [18] .....	17
Slika 23. Porta jib kran [19] .....	18
Slika 24. Triangle kran [20] .....	19
Slika 25. Daljinski upravljani kran [21] .....	19
Slika 26. Upotreba krana na koncertima [22] .....	20
Slika 27. Upotreba krana na nogometnoj utakmici [23] .....	20
Slika 28. Dijelovi krana [24] .....	21
Slika 29. Crvena strelica označava mjesto kvara .....	23
Slika 30. Strelica označava mjesto kvara .....	24
Slika 31. Plavom strelicom označen mali, a crvenom veliki zupčanik .....	24
Slika 32. Pogonski zupčanik sa 22 i 36 zubi [25] .....	25
Slika 33. Par zupčanik nakon demontaže .....	26
Slika 34. Veliki zupčanik .....	26
Slika 35. Makroskopska analiza tragova trošenja velikog zupčanika .....	27
Slika 36. Mali zupčanik .....	27
Slika 37. Makroskopska analiza tragova trošenja malog zupčanika .....	28
Slika 38. Stereomikroskopa Leica MZ6 .....	29
Slika 39. Veliki zupčanik pod povećanjem od 10 puta .....	30
Slika 40. Veliki zupčanik pod povećanjem od 25 puta .....	30
Slika 41. Mali zupčanik pod povećanjem od 10 puta .....	31
Slika 42. Mali zupčanik pod povećanjem od 25 puta .....	31
Slika 43. Rezanj uzorka većeg zupčanika .....	32
Slika 44. Uzorci u polimernoj masi nakon brušenja i poliranja .....	33
Slika 45. Skenirajući elektronski mikroskop .....	34
Slika 46. Mikroskopska analiza oštećenja zubi većeg zupčanika .....	35

Slika 47. Oštećenja pod još većim povećanjem .....	35
Slika 48. Kemijska analiza velikog zupčanika .....	36
Slika 49. Kemijska analiza malog zupčanika .....	37
Slika 50. Kemijska analiza prevlake velikog zupčanika .....	38
Slika 51. Tvrdomjer korišten za mjerenje tvrdoće .....	40
Slika 52. Mikrostruktura velikog zupčanika pod povećanjem od 500 puta .....	42
Slika 53. Mikrostruktura velikog zupčanika pod povećanjem od 1000 puta .....	43
Slika 54. Mikrostruktura prevlake velikog zupčanika pod povećanjem od 200 puta .....	43
Slika 55. Mikrostruktura malog zupčanika pod povećanjem od 500 puta .....	44
Slika 56. Mikrostruktura malog zupčanika pod povećanjem od 1000 puta .....	44

**POPIS TABLICA**

Tablica 1 Kemijski sastav velikog zupčanika dobiven EDS analizom .....	37
Tablica 2 Kemijski sastav malog zupčanika dobiven EDS analizom .....	37
Tablica 3 Kemijski sastav prevlake velikog zupčanika dobiven EDS analizom .....	39
Tablica 4 Rezultati tvrdoće velikog zupčanika .....	41
Tablica 5 Rezultati tvrdoće malog zupčanika .....	41

**POPIS OZNAKA I KRATICA**

BSE	eng. back scatter electron
EDS	eng. energy dispersive spectrometer
SE	eng. secondary electron
SEM	skenirajući elektronski mikroskop

Oznaka	Jedinica	Opis
$d$	mm	srednja vrijednost dijagonala $d_1$ i $d_2$
$d_1$	mm	vrijednost prve dijagonale otiska
$d_2$	mm	vrijednost druge dijagonale otiska
F	N	pritisna sila
HV	HV	tvrdoća po Vickersu



## SAŽETAK

Trošenje je neizbježna pojava kod kontakta 2 ili više tijela u gibanju. Najčešće se definira kao negativna pojava jer dovodi do neželjenih stanja površina te gubitka materijala pa je potreban popravak ili zamjena istrošenih dijelova. Kako bi bolje shvatili i izbjegli neželjena trošenja razvila se znanstvena disciplina nazvana tribologija. Ona se bavi površinama u dodiru i relativnom gibanju te pratećim aktivnostima odnosno sveobuhvatno se bavi problemima trošenja i trenja.

Razvojem tehnologije i potrebom da se gledateljima prenese što realniji dojam uvode se noviteti u filmsku industriju u pogledu nove opreme. Time dolazi do izuma filmskih kranova koji omogućuju potpuno nove aspekte snimanja. Upotreba kрана omogućuje nove kadrove, veći doseg, uklanjanje neželjene buke, veće brzine kretanja te mogućnost kretanja kamere u sve tri prostorne dimenzije

U ovom radu analizirat će se razlozi te mehanizmi trošenja koji su se pojavili na paru zupčanika elektromotora koji upravlja horizontalnim pomacima postolja kamera na kojem se nalazi kamera.

Ključne riječi: trošenje, zupčanici, kran, tribologija

## **SUMMARY**

Wear is unavoidable interaction between 2 or more moving bodies in contact. Usually it is defined as undesired phenomenon which leads to unwanted surface conditions and loss of material therefor component needs to be fixed or replaced with a new one. In order to better understand and avoid unnecessary wear, a new scientific discipline called tribology has been developed. It is a discipline which includes interacting surfaces in relative motion.

Due to technology development and need for more realistic impression, innovations are introduced in the film industry in terms of the new equipment. Therefor film cranes are invented that allows completely new aspects of making movies. Utilization of crane enables new shots, greater reach, eliminates unwanted noise, higher speed of movement and ability to move the camera in all 3 dimensions.

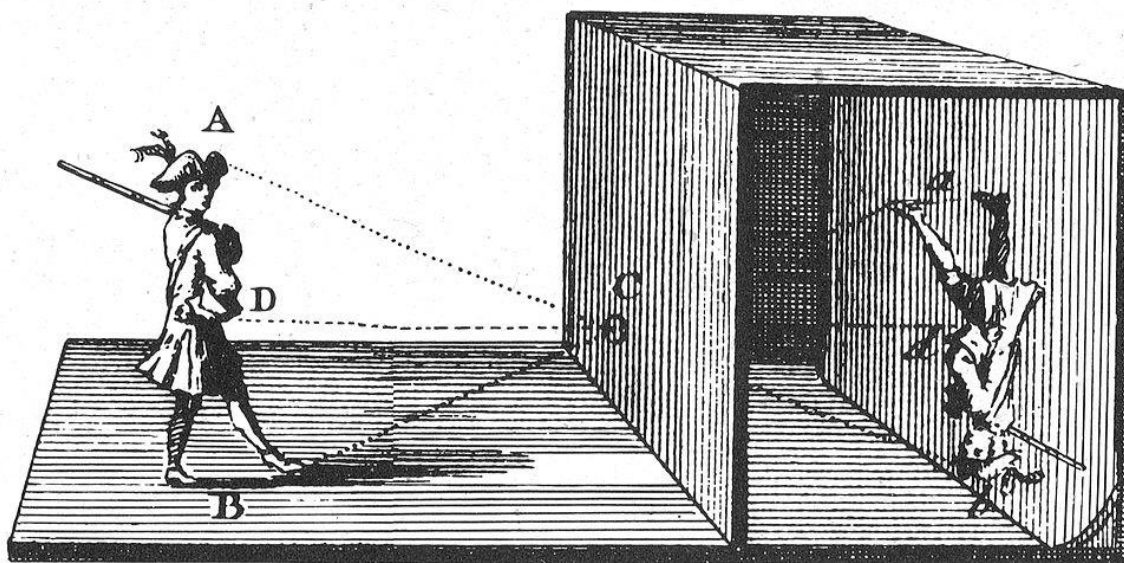
In this work the reason of wear mechanisms has been analyzed which occurred on pair of gears that are in charge of horizontal camera movements.

Key words: wear, gears, crane, tribology

## 1. UVOD

### 1.1. Izum fotoaparata

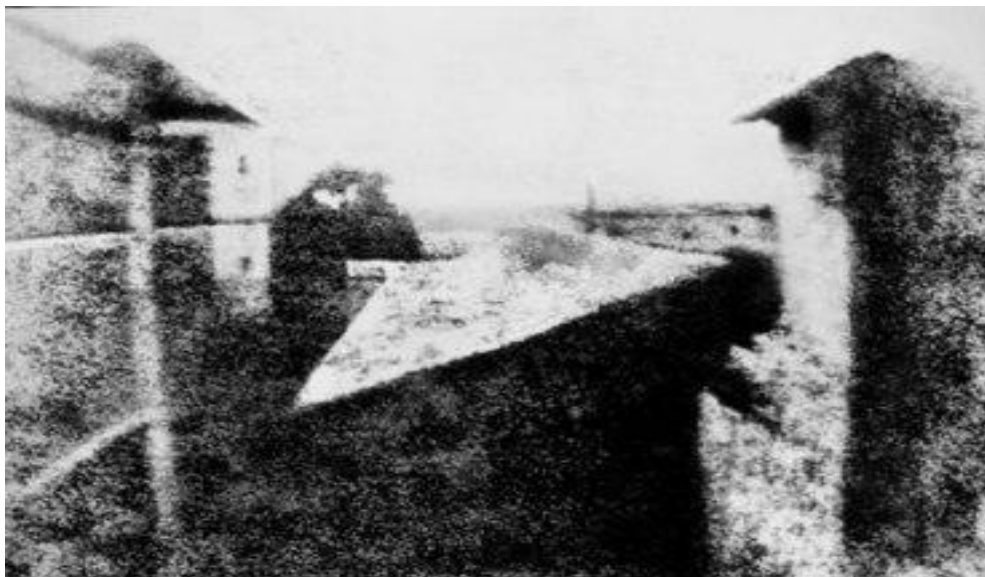
Prva ideja i pismeni trag o preteči fotoaparata potiču iz 7. st. p. n. e. iz Kine. Izvorni naziv „camera obscura“ potiče iz talijanskog što znači „tamna soba“. Izrada i način rada camere obscurae je vrlo jednostavan. Potreban je taman prostor koji ne propušta svjetlost i obojan u crno radi eliminiranja refleksije te rupica koja predstavlja objektiv i propušta svjetlost. Dolazi do odbijanja svjetlosti od objekata koji se nalaze ispred uređaja, svjetlost prolazi kroz rupicu na cameri obscuri i stvara se centralna projekcija. Na istom principu dolazi do stvaranja slike u ljudskom oku. Ukoliko se na ekran unutar „camere obscurae“ postavi fotoosjetljiv materijal, nakon eksponiranja zrakama svjetlosti koje prolaze kroz rupicu, dobiva se fotografija okrenuta za 180 stupnjeva. [1]



**Slika 1.** Princip rada „camere obscurae“ [1]

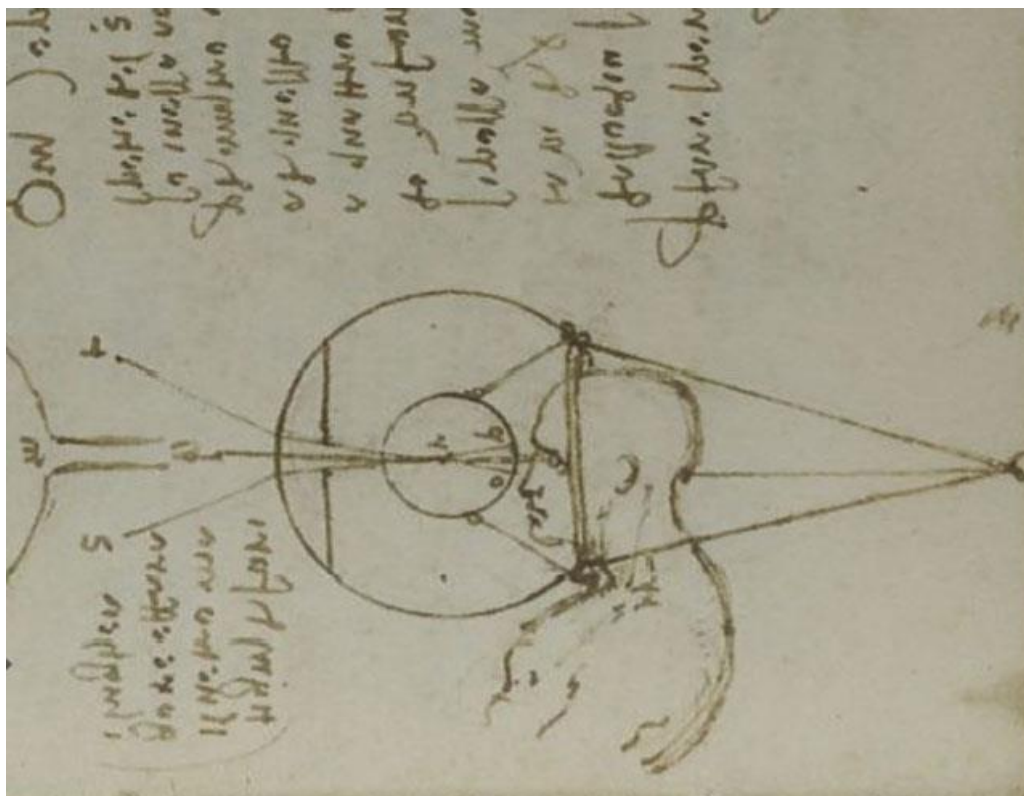


**Slika 2.** „Camera obscura“ izrađena od kartonske kutije [2]



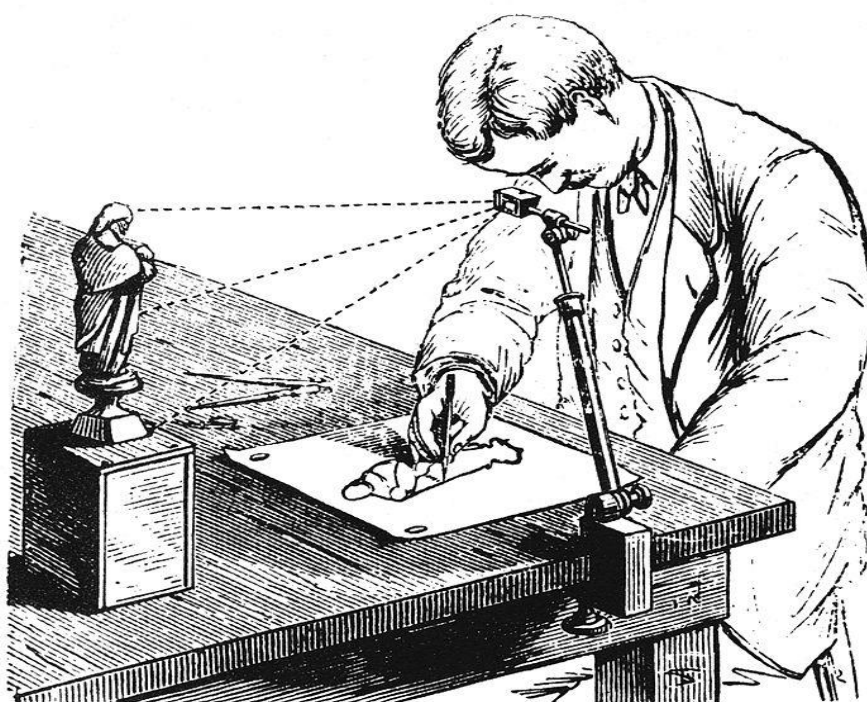
**Slika 3.** Prva poznata fotografija u povijesti, “Pogled s prozora” 1826. [2]

Poznate su i skice Leonarda da Vincia, koji je jedan od prvih ljudi koji je uočio poveznicu između nastajanja slike u „cameri obscuri“ i ljudskom oku. [2]



**Slika 4.** Skica principa rada ljudskog oka Leonarda da Vincia [3]

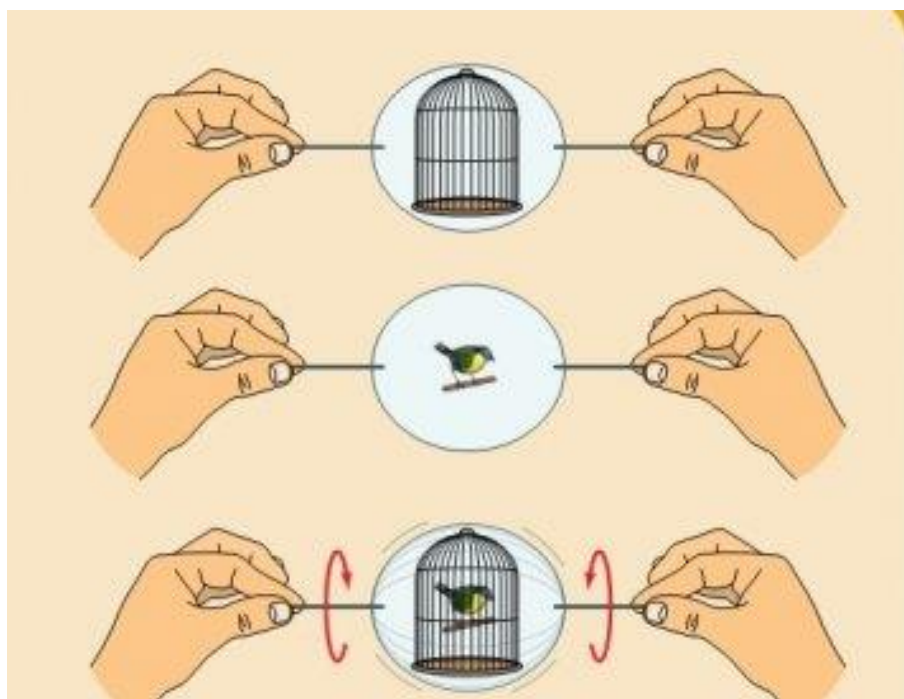
Tokom 16. st. *cameru obscuru* usavršavaju Talijani Matteo Alvise Barbaro i Giambattista della Porta. Zamjenivši rupicu sa konveksnom lećom te postavljanjem zrcala unutar *camere obscurae* u svrhu ispravljanja naopake projekcije nastaje „*camera lucida*“. Prednost tako usavršenog uređaja je što stvara svjetliju sliku od „*camere obscurae*“, a ponajviše su ga koristili slikari u naredna tri stoljeća. [1]



**Slika 5.** Ilustracija korištenja "camere lucide" [4]

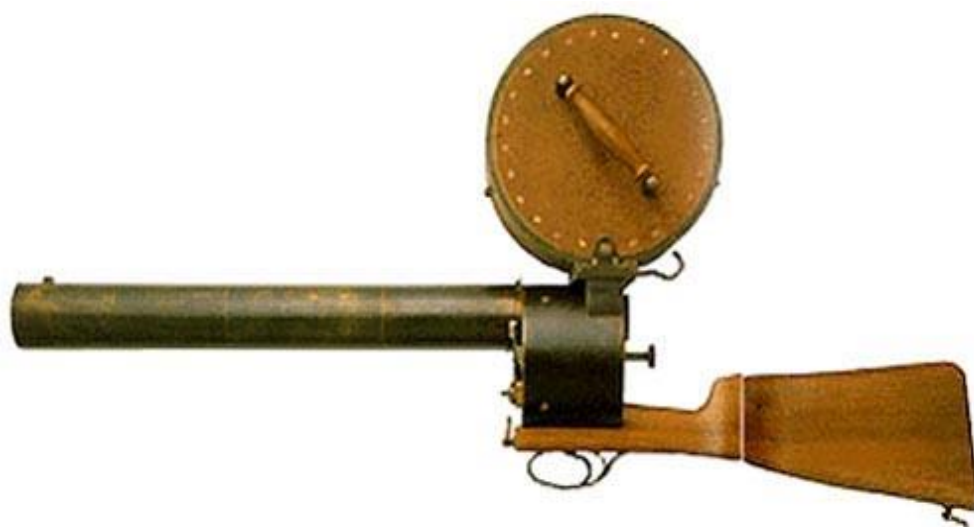
## 1.2. Pokretne slike

Dosadašnjim izumima čovjek je mogao stvarati i promatrati nepokretne slike. Početkom 19. st. izumljena je projekcija odnosno Belgijac Gasper Robertson izumio je uređaj kojeg je nazvao „phantaskop“. Princip rada se temeljio na stražnjoj projekciji dok je pokretna slika bila rezultat udaljavanja i približavanja projektora od projekcijskog platna. U razdoblju od 1824. do 1874. dolazi do razvoja raznih optičkih igračaka za prikaz pokretnih slika. Najpoznatiji takav uređaj je „traumatrope“. Izumio ju je škotski liječnik John Ayrton Paris, a sastojala se od slike krletke na jednoj i slike ptice na drugoj strani kartončića povezanog sa končićem. Rotacijom kartončića velikom brzinom dobiva se dojam da se radi o jednoj slici odnosno da se ptica nalazi u krletci. [5]



**Slika 6.** „Traumatrope“ [6]

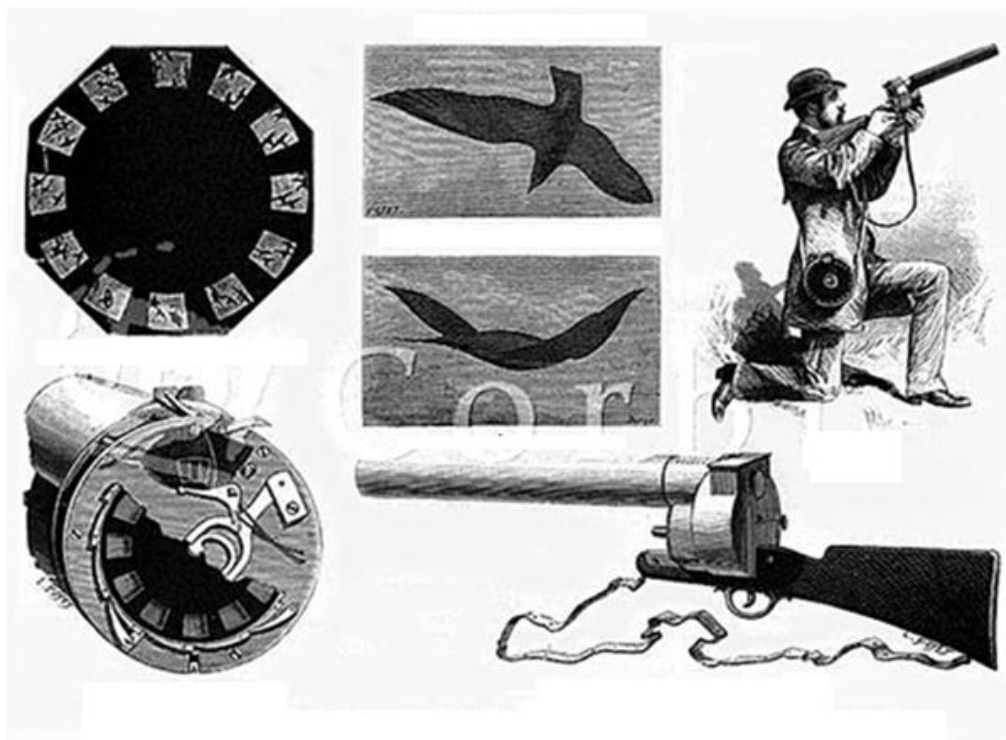
Razdoblje od 1874. do 1894. godine je preteča današnje kinematografije. U tom razdoblju dolazi do razvoja novih uređaja za izradu serijskih fotografija. Francuski astronom Pierre Janssen 1874. godine izradio je uređaj poznatiji kao fotografski „revolver“ kojim je omogućio da jednim okidanjem snimi 48 sličica u nizu. [5]



**Slika 7.** Fotografski „revolver“ [5]

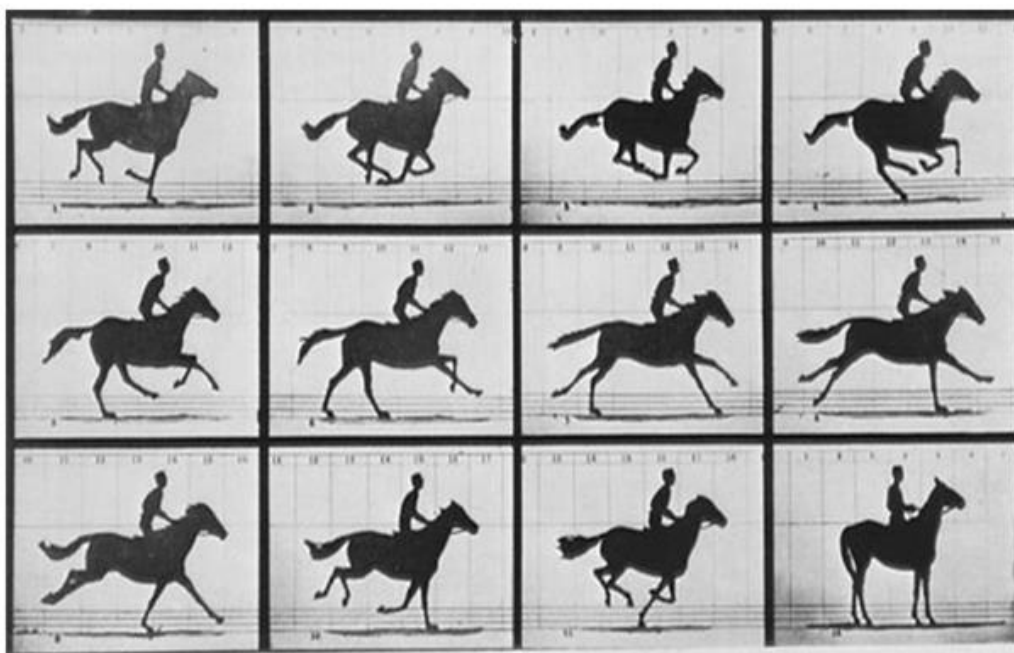


Na sličnom principu radi izum francuskog liječnik Jules-Etienne Marey kojim se snima niz od 12 fotografija na fotografsku ploču. Uz pomoć svoga uređaja je proučavao mnoge životinje poput psa, konja, mačke, slona, kukaca, reptila. Ujedno je izdao jednu od napoznatijih studija o tome kako se mačke pri padu uvijek dočekaju na noge upravo zahvaljujući svome izumu. [5]



**Slika 8.** Fotografska "puška" [5]

Princip serijske fotografije za analizu pokreta životinja i ljudi koristi Edward Muybridge. Svojim pokusom s nizom od 24 fotoaparata poredanih jedan pored drugog duž putanje kretanja konja dolazi do zaključka da konj u pojedinim trenucima uopće ne dodiruje tlo. Kako pojedini fotoaparati ne bi zakasnio ili uranio za snimanjem fotografije, sastavio je sistem u kojem je okidače fotoaparata povezao s konopcem. Kako je konj protrčao pored pojedinog fotoaparata došlo bi do povlačenja konopca te samosnimanja. [5]



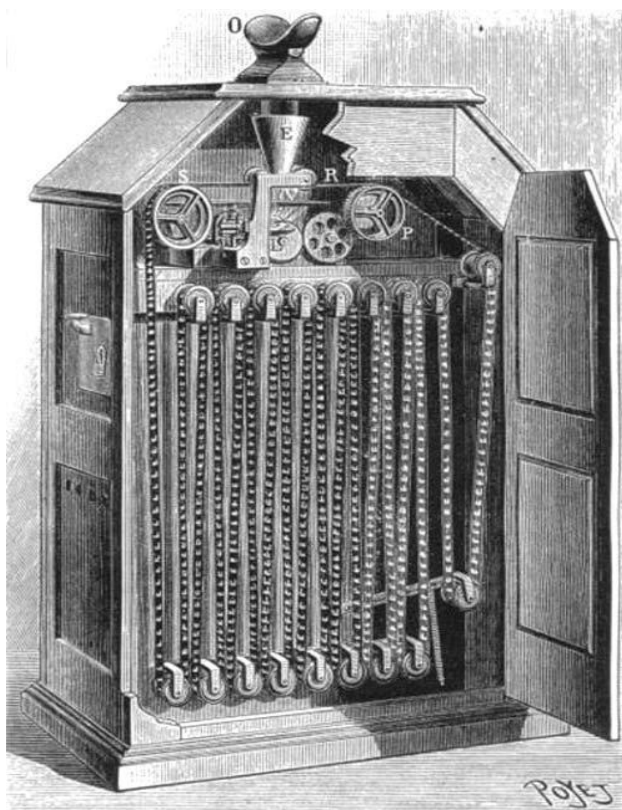
**Slika 9.** Konj u pokretu [5]

Prvu filmsku kameru je konstruirao Louis Aima Augustin Le Prince 1887. godine. On se smatra „Ocem kinematografije“ jer je prvi čovjek koji je uspio snimiti film uz pomoć jedne kamere. Želja mu je bila javno demonstrirati svoj izum u Americi, no misteriozno nestaje 1890. godine. Thomas Edison pokušava ukrasti zasluge za izum na sudu protiv Le Princove žene i sina. Sud presuđuje u korist Edisona no godinu dana kasnije dolazi do obrata u korist Le Princea. [7]



**Slika 10.** Prva filmska kamera [7]

Usprkos neuspjelom pokušaju da preuzme zasluge Le Princea, Thomas Edison 1888. je izumio prvi projektot pod imenom kinematoskop. Javnosti je bio dostupan tek 4 godine kasnije. Radio je na principu da ubacivanjem kovanice u otvor na uređaju se može pogledati film u trajanju 20 do 60 sekundi. Premijera prvog filma Blacksmiths je održana 3.5.1893. godine u Brooklynskom Institutu za znanost i umjetnost. Dodatnim usavršavanjem uređaja i izdavanjem potrebnih dozvola 1894. godine otvoren je prvi javni salon sa 10 kinematoskopa. Uređaji su bili poredani u 2 paralelna reda po 5 komada, a na svakom se prikazivao različit film. Za 25 centi se moglo pogledati 5 filmova odnosno jedan red uređaja. [8]



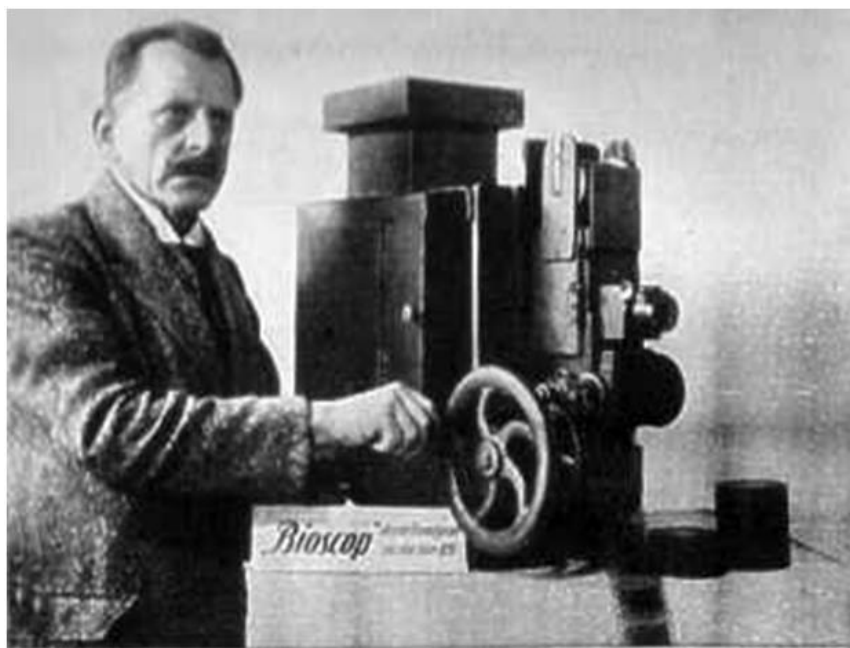
**Slika 11.** Kinematoskop [8]

Kinematoskop je koristio 35mm film koji se sastoji od vertikalnog niza slika pravokutnog oblika sa po 4 perforacije sa svake strane podjedine slike. Nakon par godina takav format prihvaćen je na globalnoj razini i postao standard. [8]



**Slika 12.** 35mm film korišten u kinematoskopu [8]

Sljedeće značajno ime u razvoju filma i filmske industrije je Max Skladanowsky. Zajedno sa svojim bratom Emilom konstruirao je kameru 1892. godine, pomoću koje snimaju prvi film i prikazuju ga 1895. godine u Berlinskom vrtu uz pomoć izuma nazvanog bioskop. Jedna od prednosti bioskopa nad Edisonovim kinematoskopom je to što je projekciju moglo gledati više ljudi odjednom. Uređaj je koristio 2 role 54mm filma. [5]

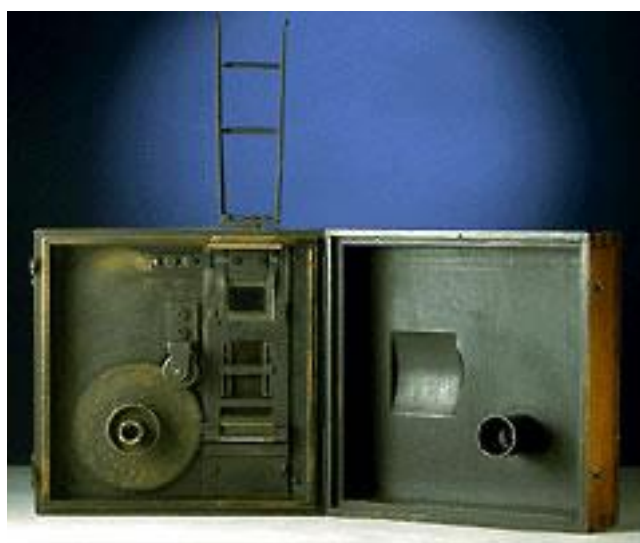


**Slika 13.** Bioskop [5]

Uvidjevši nedostatke dosadašnjih izuma braća Lumièrè izrađuju svoj uređaj kinematograf. Patentiran je u veljači 1895. godine. Prva javna projekcija je bila 28. prosinca 1895. godine, taj datum ujedno se smatra rođendanom kinematografije. Njihov uređaj je bio kombinacija kamere i projektor te koristio 35mm film. Prednost nad Edisonovim kinematoskopom je to što je bio lakši i omogućio da više ljudi odjednom gledaju projekciju filma, a pokretan je okretanjem ručice. Projekcija prva 2 filma u pariškom Grand Cafeu bila su „Izlazak radnika iz tvornice“ i „Ulazak vlaka u stanicu“. [9]



**Slika 14.** Kinematograf [10]



**Slika 15.** Unutrašnjost kinematografa [10]



**Slika 16.** Scena iz filma „Izlazak radnika iz tvornice“ [10]



Razvoj filma započinje 90-tih godina 19. stoljeća. Zbog tada dostupne tehnologije filmovi su bili do minute dugi, crno bijeli i bez zvuka. Obično bi prikazivao scenu iz svakodnevnog života, važan javni ili sportski događaj. U nadolazećim godinama sve je veće zanimanje javnosti za filmskim projekcijama, stoga se otvaranju mnogobrojna kina. U skladu s time osnivaju se produkcijske kuće te dolazi do procvata filmske industrije. Također važno ime i događaj na prijelazu stoljeća je izum Georga Eastwooda, izum celuloidnih rola filma. Taj događaj je predstavljao prekretnicu u razvoju filmske industrije te je bio mnogo prikladniji od dosad korištenih staklenih i keramičkih ploča. Eastman je također suosnivač svjetski poznate kompanije Kodak, koju je osnovao 1888. godine. [11]



**Slika 17.** Prva Kodak kamera [11]



Početak 20. stoljeća i dalje jača razvoj filma pa tako trajanje filmova je postalo duže, a i sastojali su se od više scena. Ujedno dolazi do pojave jednostavnih tehnika montaže filmova i naracije. Potom se na sceni pojavljuje novi izumitelj, Poljak Kazimierz Prószyński sa svojim uređajem aeroskop. To je prva ručna kamera koja je radila na principu zbijenog zraka. Prednost te kamere je što nije bilo potrebno okretanje ručice kako bi kamera snimala, što je dalo mogućnost kamermanu da koristi obje ruke za upravljanje kamerom. Stoga je mogla biti korištena u otežanim uvjetima, poput snimanja iz aviona ili u vojne svrhe. Zbog svoje male težine i već spomenutog jednostavnog rukovanja, stotine britanskih časnika koristi su aeroskop tokom Prvog svjetskog rata. [12]



**Slika 18.** Aeroskop [13]

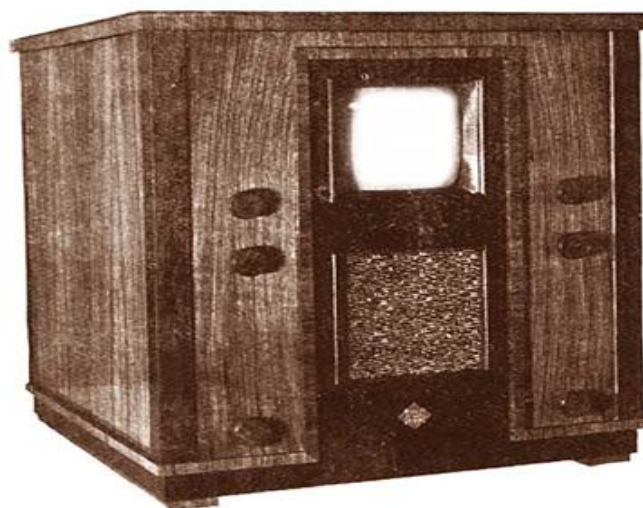


**Slika 19.** Britanski vojnici sa aeroskopom [14]

1900. godine prvi put se spominje riječ televizija na međunarodnom kongresku u Parizu. Prvi mehanički televizijski uređaji bili su dostupni 1920.-tih. godina u Velikoj Britaniji, Americi i Sovjetskom savezu. Sastojali su se od radija i neonskih cijevi iza rotirajućeg diska s otvorima. Nakon Drugog svjetskog rata dolazi do razvoja i pojave električne televizije na tržištu. Prvi komercijalni televizijski set proizvela je tvrtka Telefunken u Njemačkoj, a kasnije se priključuju proizvođači iz Francuske, Velike Britanije, Amerike. [15]



**Slika 20.** Prikaz upotrebe mehaničke televizije [15]



**Slika 21.** Prva električni televizijski prijemnik [16]

### 1.3. Kranovi za kamere

Pojavom televizije dolazi do razvoja televizijske opreme. Isprva se pojavljuju tzv. FSS tip kamere koje su bile u upotrebi za vrijeme ere mehaničke televizije. 1954. godine na tržištu se pojavljuje prva televizijska kamera za snimanje u boji TK-41, koja će se koristiti u nadolazećih 15 godina. Sastojala se od kupole sa 4 objektiva, a težila je 140kg. [17]



Slika 22. Kamera TK-41 [18]

Preteča filmskih kranova dogodila se neplanirano. Scott Losmandy osnivač Porta-jiba otvara radionu 1981. godine u Hollywoodu. Kako se u slobodno vrijeme bavio astronomijom uvidio je potrebu za izradu teleskopa koji bi konkurirali znatno skupljim na tržištu. Tako je osnovana tvrtka Losmandy Astronomical Products. Radiona bila u Hollywoodu pa se često bavio i popravcima kamere i televizijske opreme. Zbog toga dolazi na ideju za izum kрана za 35-mm kameru koje su u to doba bile teške. Tako je izumljen Porta-Jib. [19]



**Slika 23.** Porta jib kran [19]

Novi izum isprva se iznajmljivao produkcijским kućama, a kasnije se razvija i tržište i mogućnost kupnje kranove. Najosnovniji model je bio tronožac s kotačima na kojem se nalazi metalna „ruka“. Na jednom kraju se nalazio operater, a na drugom kraju je pričvršćena kamera. Kasnijim razvojem tehnologije dolazi do ugradnje elektromotora i mogućnosti izvlačenja metalne „ruke“, a u najnovije doba kranovima se može upravljati uz pomoć daljinskog upravljača.



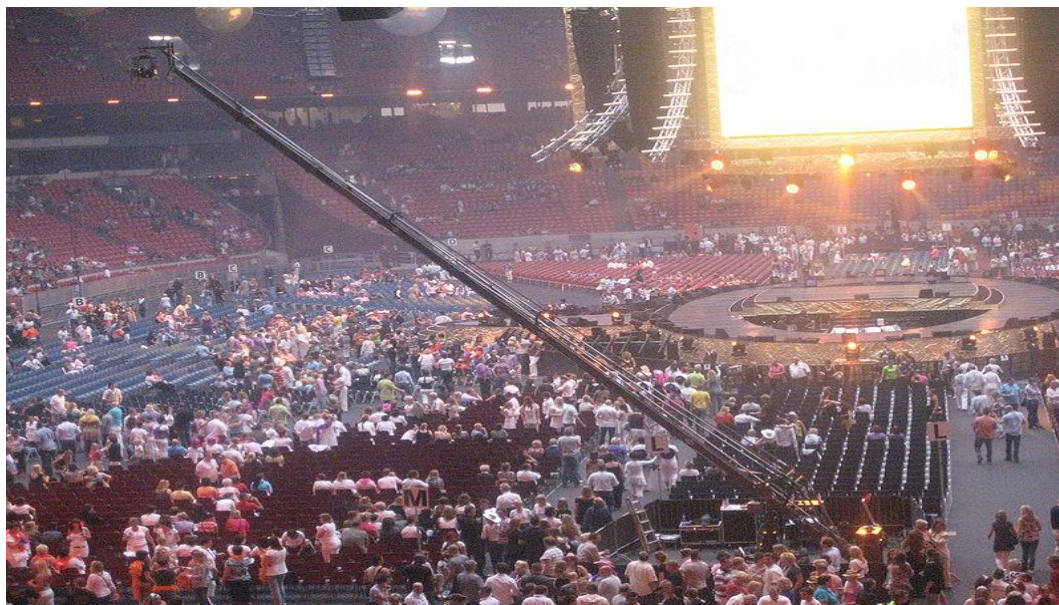
**Slika 24.** Triangle kran [20]



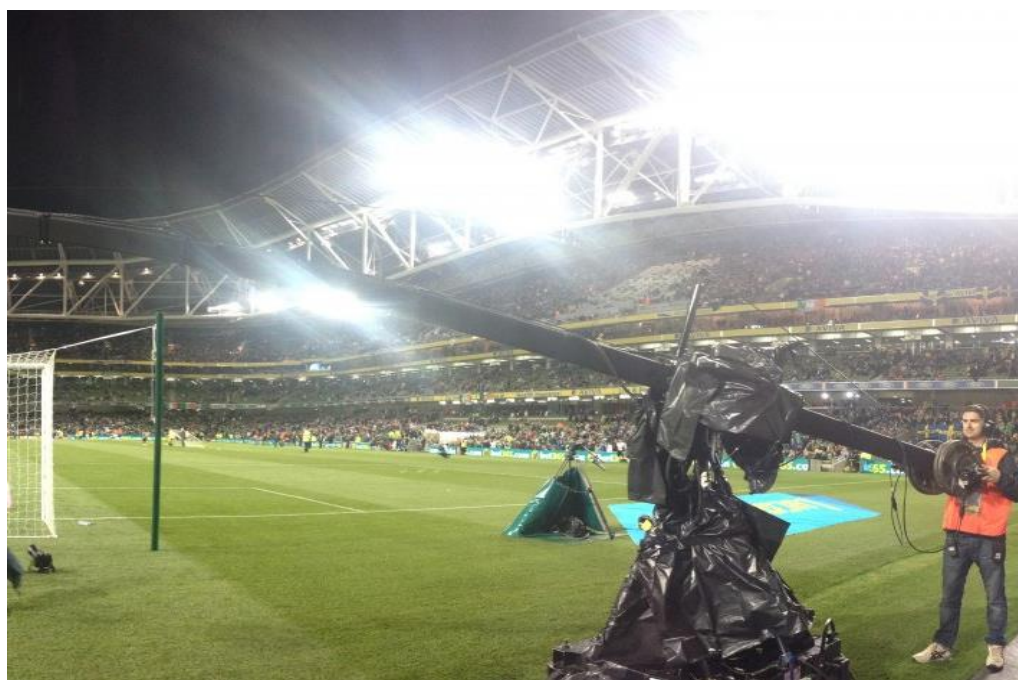
**Slika 25.** Daljinski upravljani kran [21]



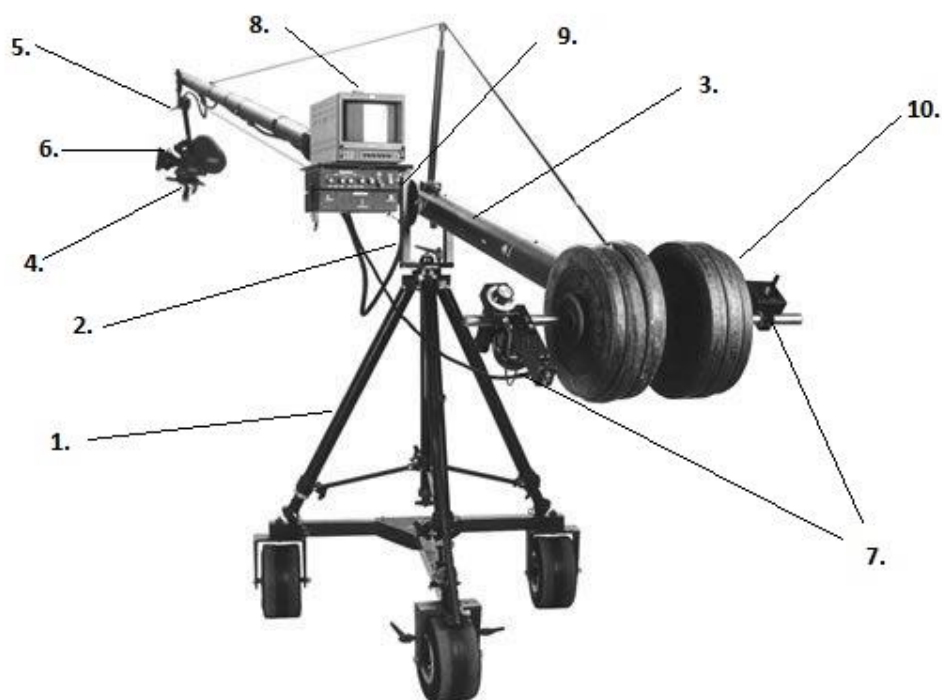
Osim za snimanje televizijskih emisija i filmova kranovi su se počeli koristiti u gotovo svim većim televizijski popraćenim događajima, pogotovo ako se radilo o velikim otvorenim prostorima ili koncertnim i sportskim dvoranama.



**Slika 26.** Upotreba kрана na koncertima[22]



**Slika 27.** Upotreba kрана na nogometnoj utakmici [23]



**Slika 28.** Dijelovi krana[24]

Osnovni dijelovi krana:

1. Tronožac s kotačima
2. Postolje za gredu
3. Trodjelna aluminijska greda sa sajlama za balans kamere
4. Postolje za kameru
5. 2 elektromotora (vodoravno i horizontalno)
6. 2 servomotora (zoom i fokus)
7. Kamera kontrole
8. Monitor
9. Upravljačka kutija i baterija
10. Utezi za protutežu

Osnovna funkcija kрана su atraktivniji kadrovi iz različitih kuteva koji nisu mogući korištenjem kamere na običnim stativima. Uz pomoć kamera kontrole, operater kontrolira pomicanje postolja za kameru. Kamera kontrole povezane je sa 2 elektromotora i 2 servomotora koji se nalaze na drugom kraju aluminijske grede. Na elektromotore su postavljenih zupčanici koji omogućuju rotacije za 360 stupnjeva te pomicanje postolja za kameru u vertikalnom smjeru, dok je zadaća servomotora rotacija objektiva kamera koji je zadužen za fokusiranje i zumiranje.

Raspon aluminijske grede se kreće od 1,8 m pa sve do 12 m što omogućuje veći i bogatiji dojam kadra. Maksimalna nosivost je 22,6 kg na dužini grede od 9,1 m što ne ograničuje mogućnost korištenja na samo male i lagane kamere. Kao protuteža kameri koriste se utezi koji se po potrebi mogu skidati i stavljati uz kameru kontrole. Operator kрана također ima monitor koji koristi za referencu pri kontroli kadra. [20]



## 2. EKSPERIMENTALNI DIO

U ovom radu analiziran je rad kрана Triangle na televizijskoj kući RTL. Kran je kupljen nov, izravno od proizvođača Jimmy Jib.

Početak rada kрана je siječanj 2016. godine ,a pojava prvog kvara 6 mjeseci kasnije odnosno u srpanju 2016. godine. Kran je dnevno korišten 2 sata preko tjedna, a 1 sat dnevno preko vikenda odnosno 364 sati ukupno tokom 6 mjeseci. Ukupno na cijelom kranu nalaze se 2 para jednakih zupčanika, a par zupčanika koji je prvi otkazao je omogućavao horizontalne pomake kamere. Kvar je uočen na način da se kamera tresla prilikom pomicanja u smjeru horizontalne osi.



**Slika 29.** Crvena strelica označava mjesto kvara



**Slika 30.** Strelica označava mjesto kvara



**Slika 31.** Plavom strelicom je označen mali, a crvenom veliki zupčanik

Pogonski zupčanici dolaze u dvije izvedbe, sa 22 ili 36 zubi. Veći zupčanik sa 36 zubi dolazi tvornički pričvršćen na elektromotor no lako se mogu zamjeniti sa manjim kojim se postižu manje brzine kretanja kamere što omogućuje jednostavniju upotrebu. U ovom slučaju koristio se veći pogonski zupčanik odnosno sa 36 zuba.



**Slika 32. Pogonski zupčanik sa 22 i 36 zubi [25]**

## 2.1. Demontaža zupčanika

Nakon pojave kvara, zupčanici su skinuti sa kрана i zamjenjeni novima. Nakon skidanja golim okom su vidljivi tragovi trošenja na oba zupčanika čime je potvrđen uzrok kvara.

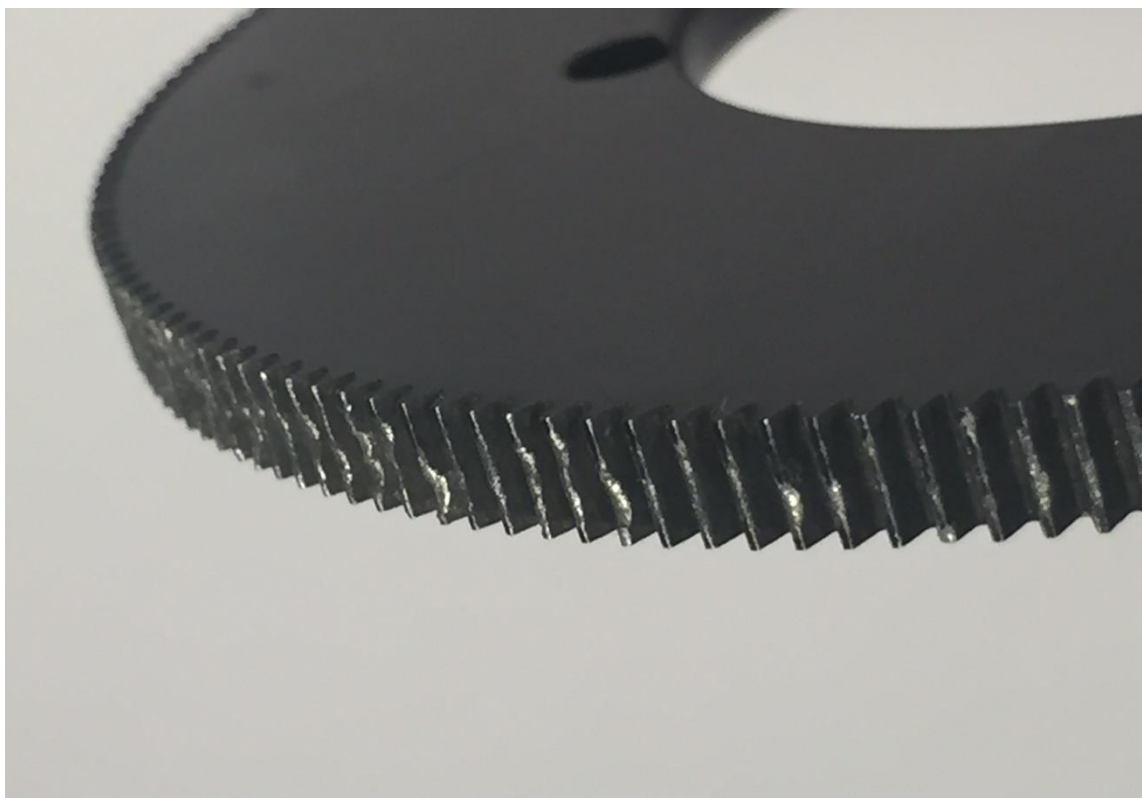


**Slika 33.** Par zupčanic nakon demontaže



**Slika 34.** Veliki zupčanic

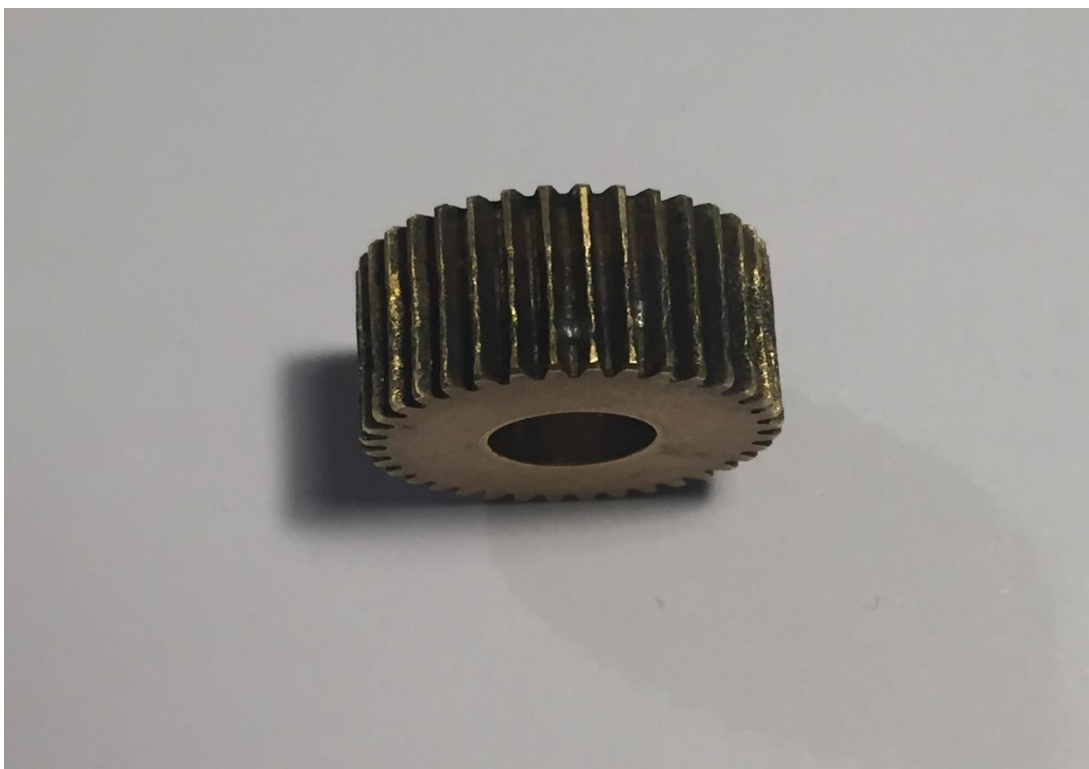




**Slika 35.** Makroskopska analiza tragova trošenja velikog zupčanika



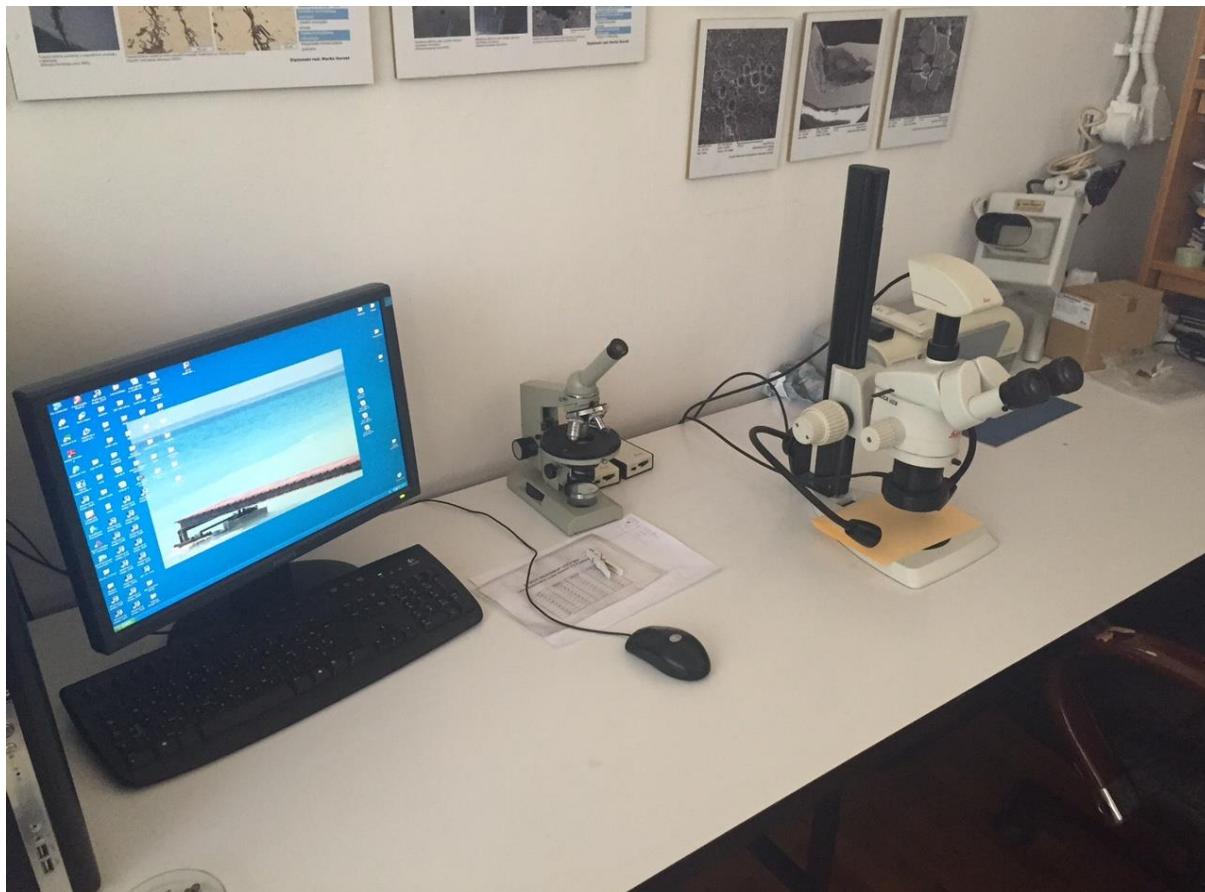
**Slika 36.** Mali zupčanik



**Slika 37.** Makroskopska analiza tragova trošenja malog zupčanika

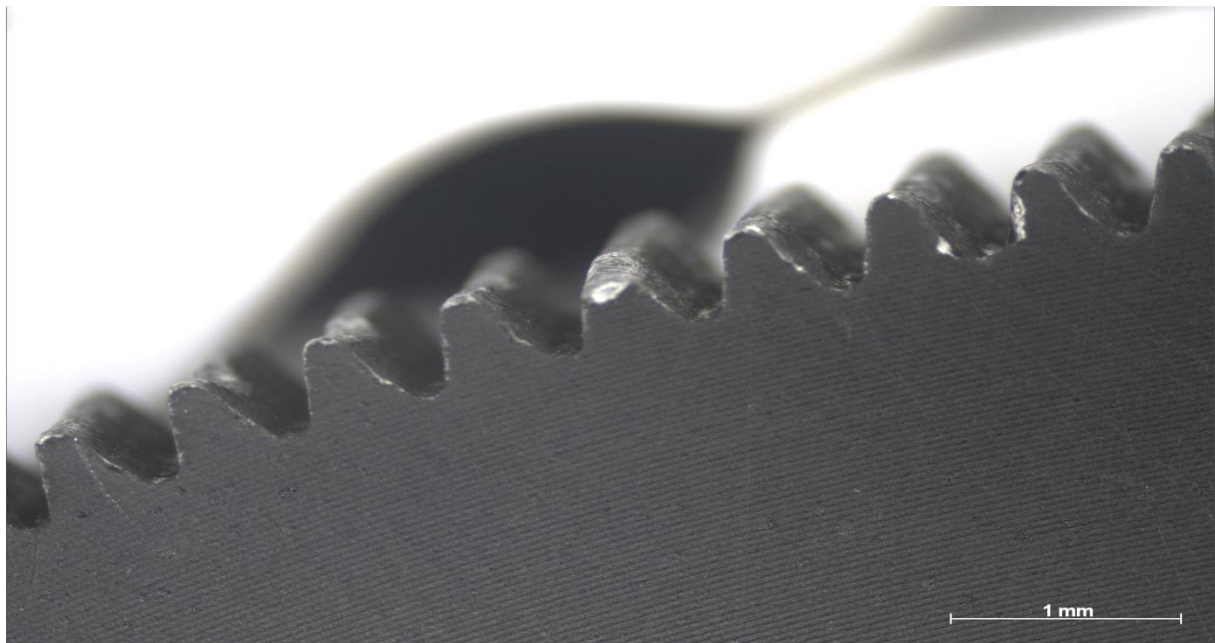
## 2.2. Analiza tragova trošenja na stereomikroskopu

U Laboratoriju za zaštitu materijala napravljen je vizualan pregled oba zupčanika korištenjem stereomikroskopa Leica MZ6 sa dvostrukim osvjetljenjem.

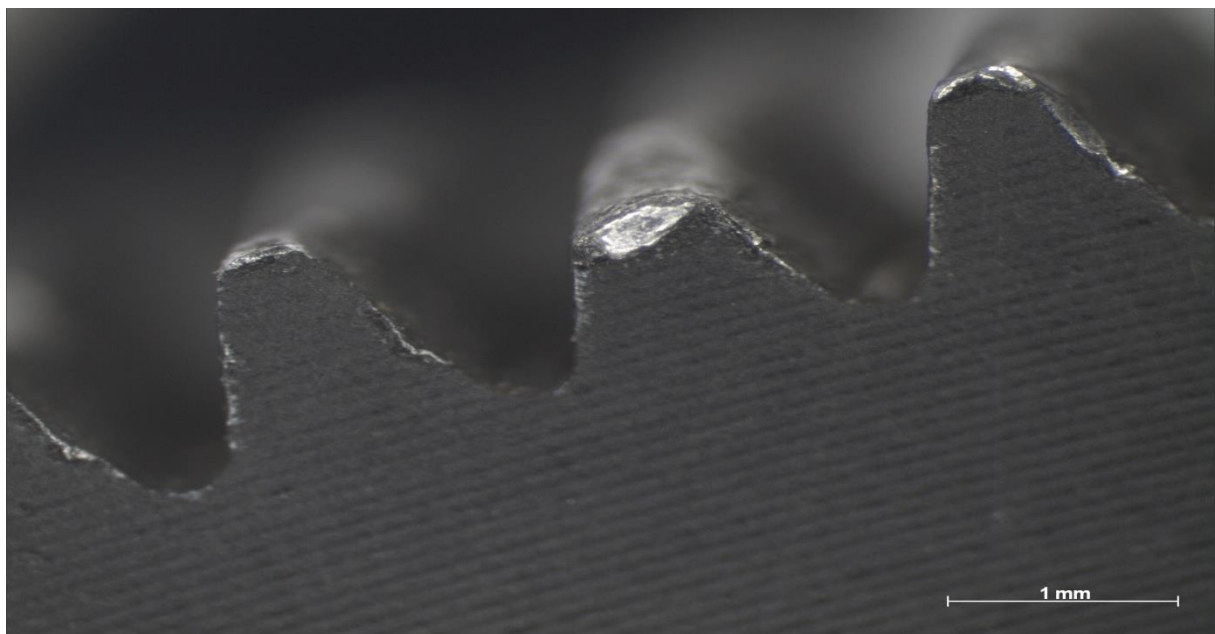


**Slika 38.** Stereomikroskopa Leica MZ6

Već utvrđeni tragovi trošenja na oba zupčanika fotografirani su uz pomoć softvera povezanim sa stereomikroskopom pod povećanjem od 10 i 25 puta.

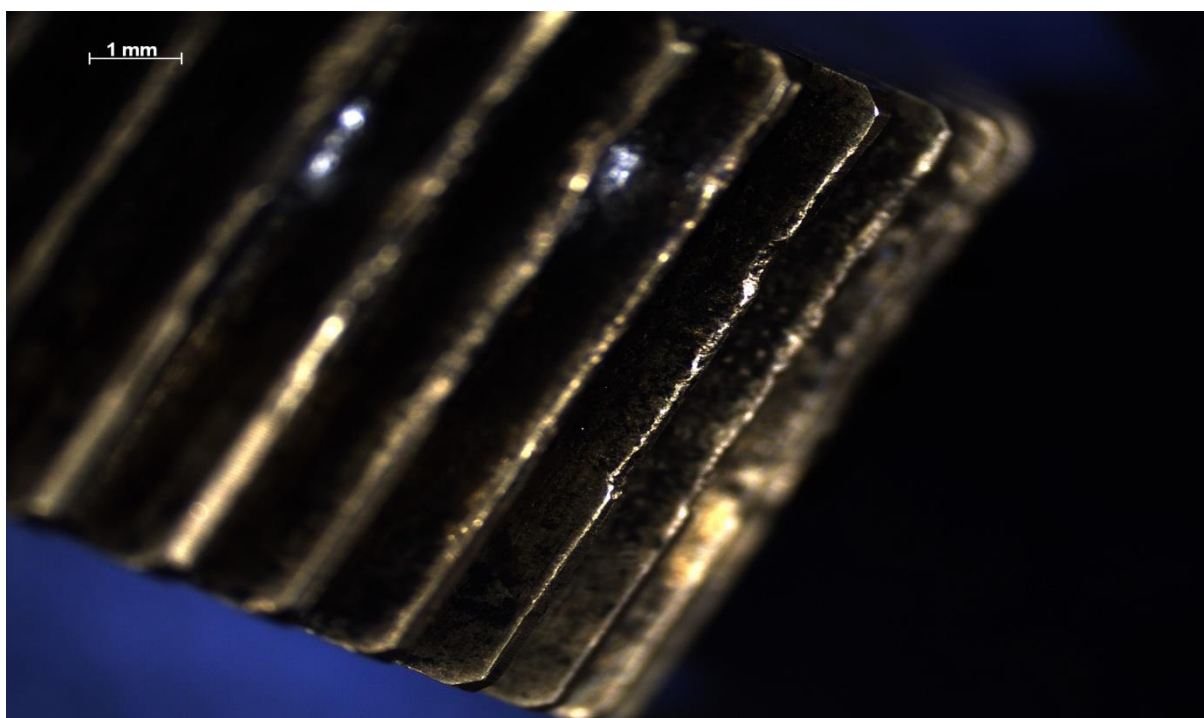


**Slika 39.** Veliki zupčanik pod povećanjem od 10 puta

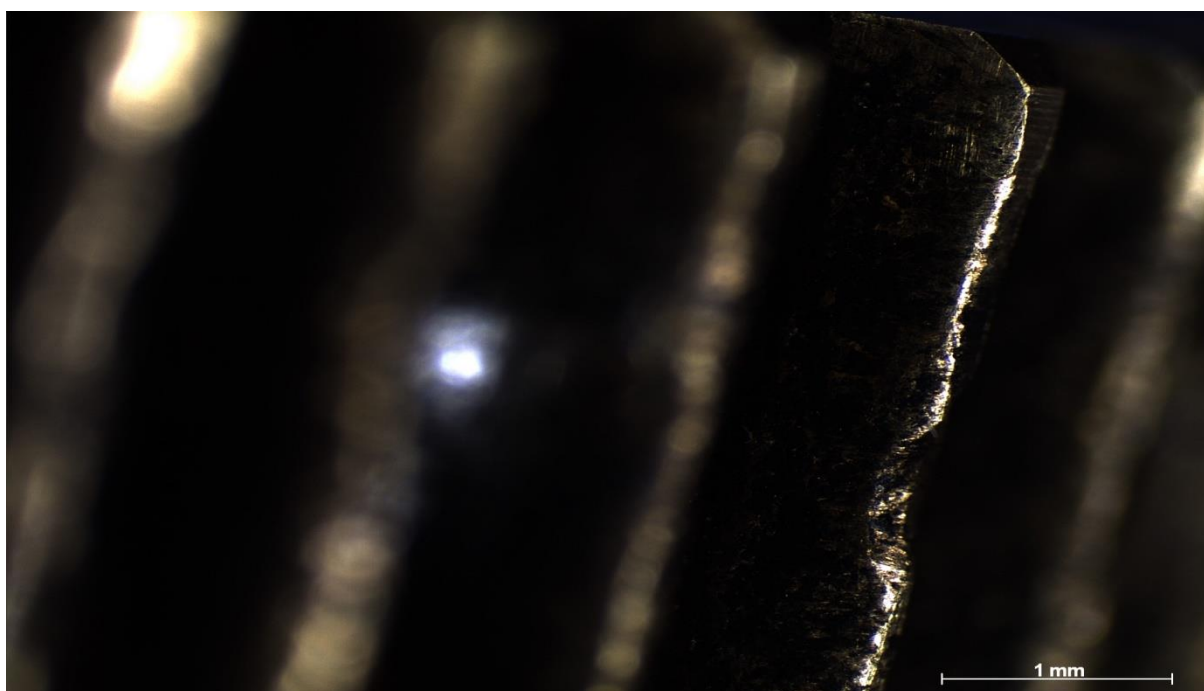


**Slika 40.** Veliki zupčanik pod povećanjem od 25 puta





**Slika 41.** Mali zupčanik pod povečanjem od 10 puta



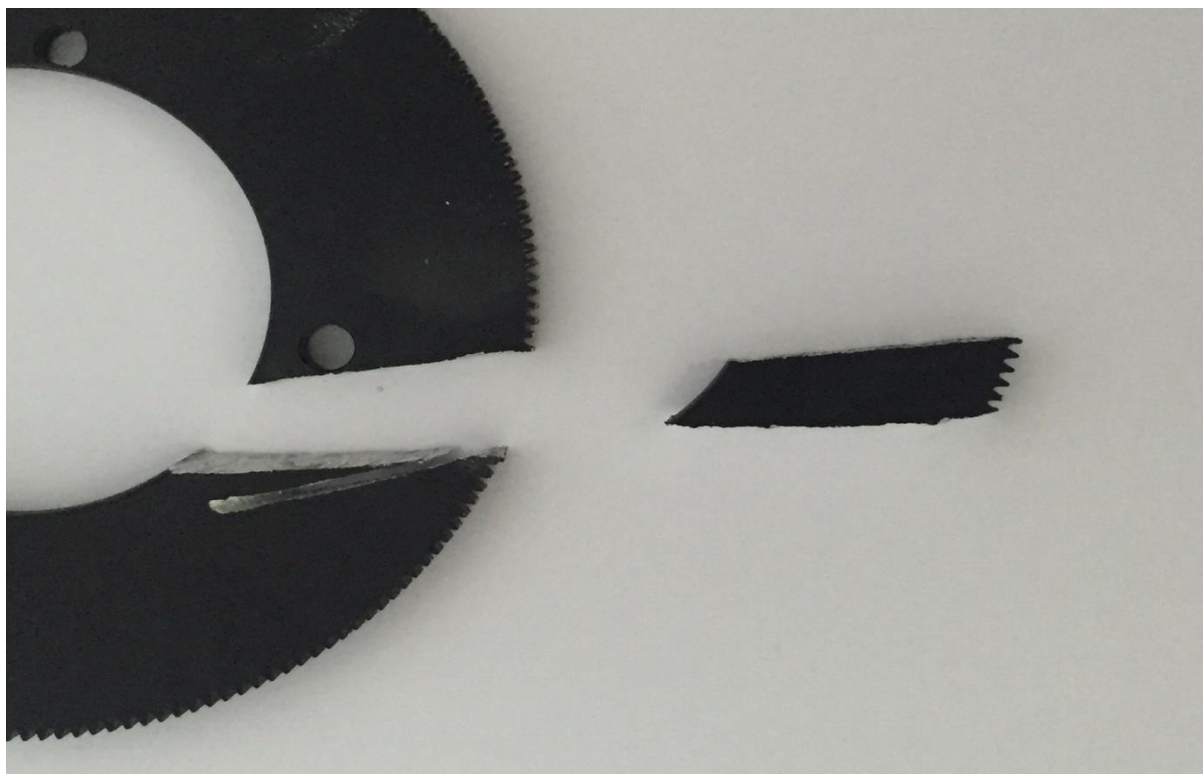
**Slika 42.** Mali zupčanik pod povečanjem od 25 puta

## 2.3. Priprema uzorka

Koraci pripreme uzorka za daljnju analizu:

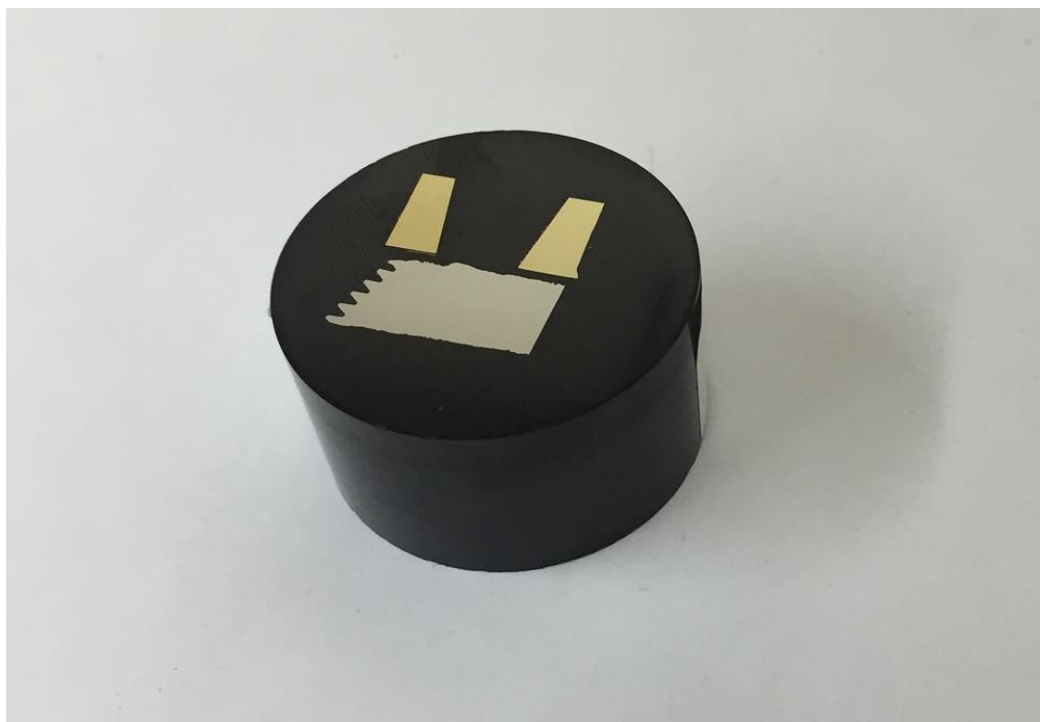
1. Rezanje uzorka
2. Ulijevanje u polimernu masu
3. Brušenje i poliranje
4. Nagrizanje
5. Analiza u nagrzanom stanju

Iz većeg zupčanik je izrezan 1 komadić, a iz manjeg 2 komadića koji će se upotrijebiti za daljnju karakterizaciju.



**Slika 43.** Rezanj uzorka većeg zupčanika

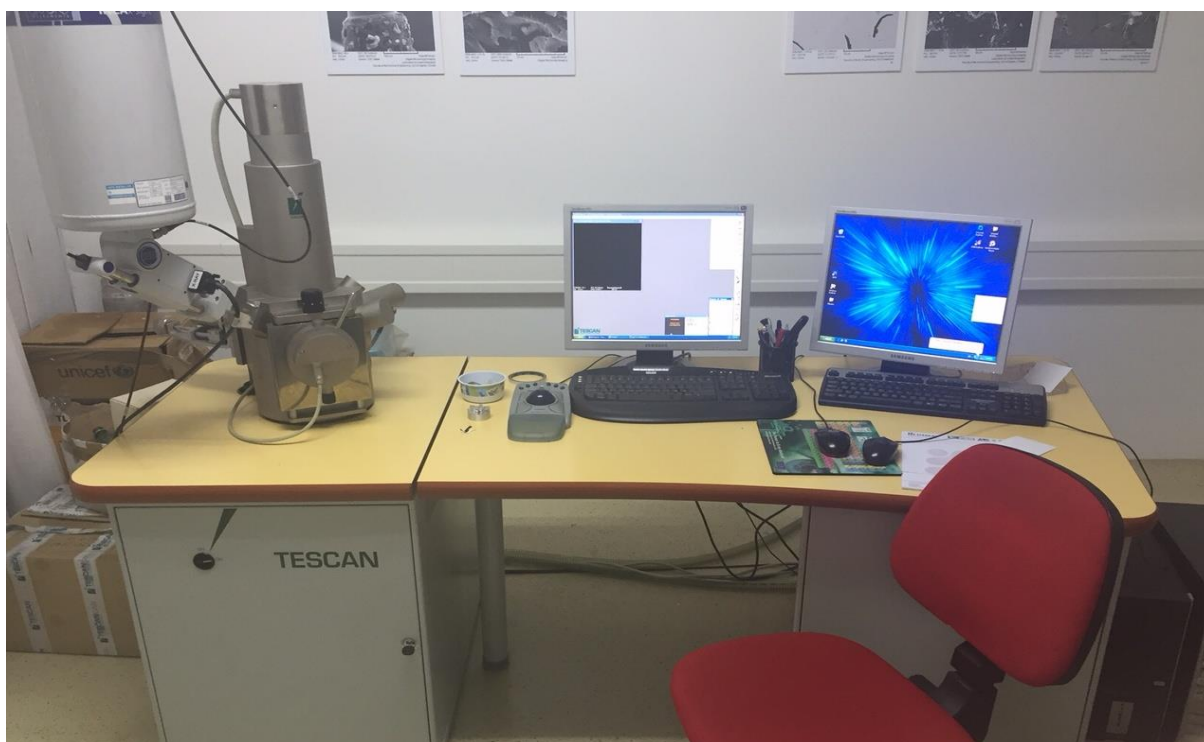
Nakon izrezivanja uzorci su zaliveni u polimernu masu radi lakšeg rukovanja, a potom brušeni i polirani radi dobivanja potrebnog stanja površine za analizu.



**Slika 44.** Uzorci u polimernoj masi nakon brušenja i poliranja

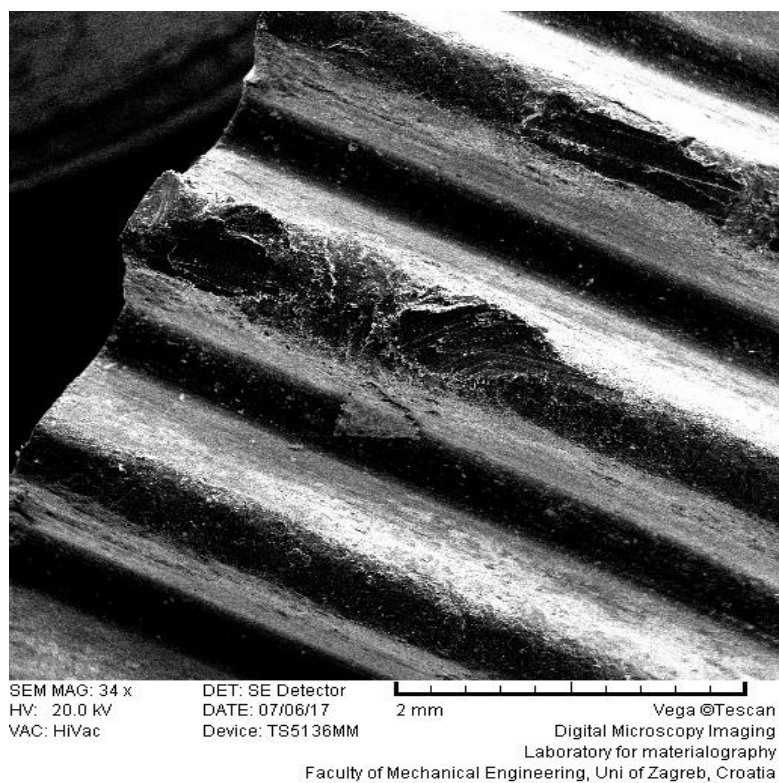
## 2.4. Kemijska analiza

Za određivanje kemijskog sastava i topografije tragova trošenja korišten je SEM u Laboratoriju za analizu metala. Uređaj radi na principu „bombardiranja“ površine ispitnog uzorka vrlo uskim snopom elektrona. Korištenjem elektrona umjesto svjetlosnih fotona dobiva se bolja rezolucija, a kako se elektroni odbijaju u određenom vremenskom slijedu postiže se odlična dubinska oštrina što daje dojam trodimenzionalnosti. Mogućnost raspona od je 10 do 30 000 puta. [26]

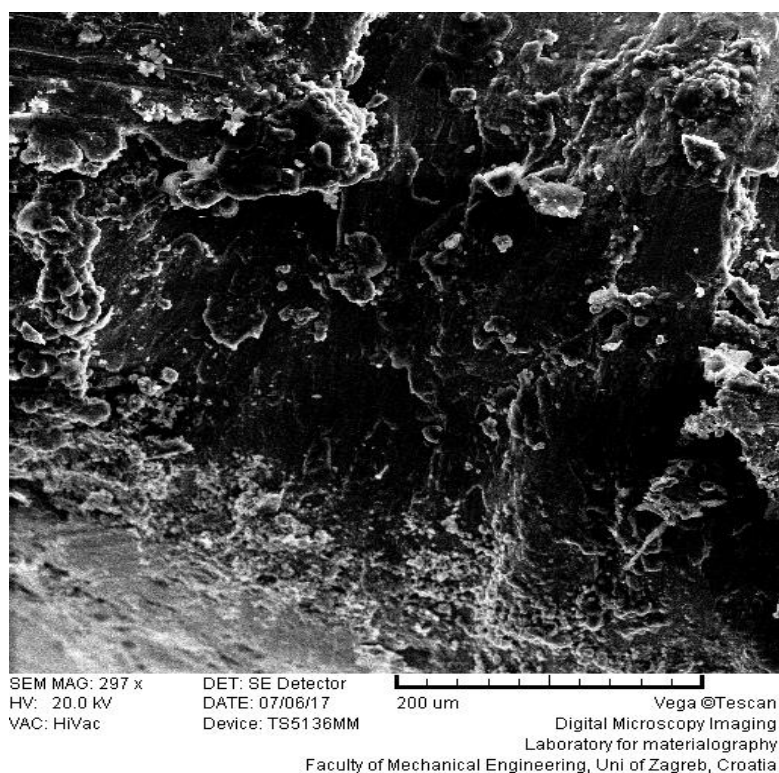


**Slika 45.** Skenirajući elektronski mikroskop

SEM je korišten za promatranje tragova trošenja na zubima većeg zupčanika. Do sad obavljenom analizom može se zaključiti da se radi o manje otpornom materijalu na trošenje od materijala manjeg zupčanik pa u skladu s time je došlo do većih oštećenja.



**Slika 46.** Mikroskopska analiza oštećenja zubi većeg zupčanika



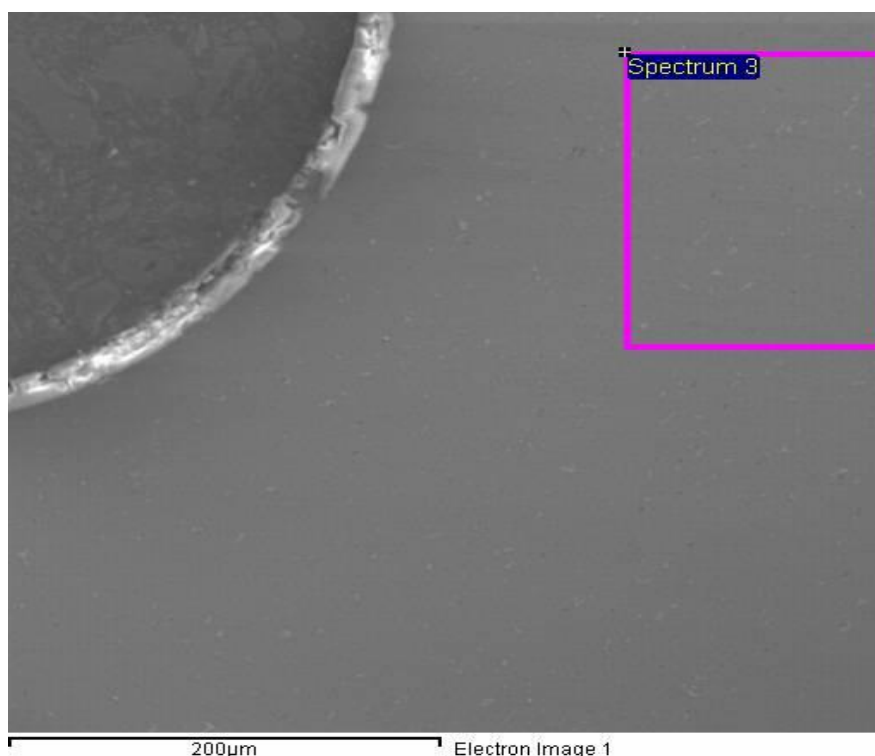
**Slika 47.** Oštećenja pod još većim povećanjem

**SEM koristi 3 osnovne vrste detektora:**

1. BSE (eng. Back Scatter Electron) – detektor povratno raspršenih elektrona
2. SE (eng. Secondary Electron) – detektor sekundarnih elektrona
3. EDS (eng. Energy Dispersive Spectrometer) – energijski disperzivni spektrometar

BSE detektor stvara sliku uzorka u nijansama sive boje dok SE detektor prikazuje površinu ispitnog uzorka u velikoj rezoluciji što pogoduje detaljnijoj vizualnoj analizi površine uzorka.

Emitiranje X-zraka uslijed udaranja elektrona o površinu uzorka registrira se korištenjem EDS detektora. Energija takvog zračenja karakteristična je za svaki kemijski element te služi za određivanje kemijskog sastava uzorka.[26]

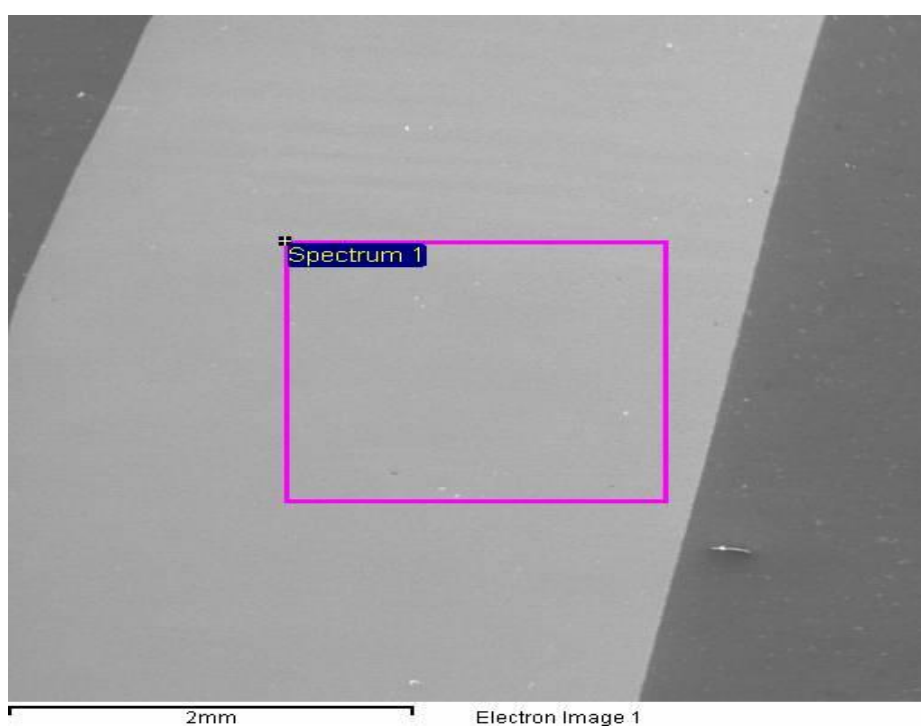


**Slika 48.** Kemijska analiza velikog zupčanika



**Tablica 1** Kemijski sastav velikog zupčanika dobiven EDS analizom

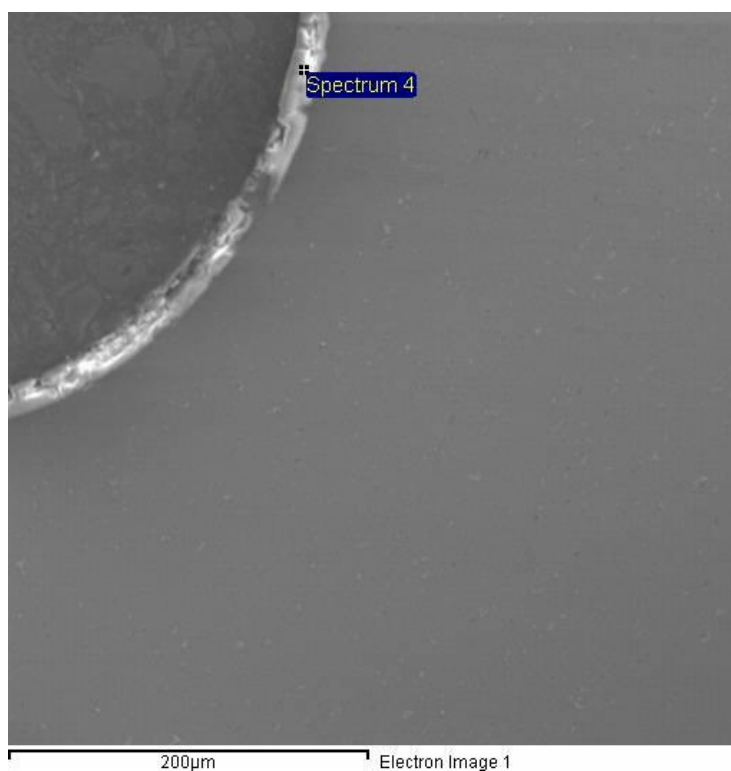
Kemijski element	Udio (%)
O	2.53
Al	95.79
Mg	0.87
Si	0.81

**Slika 49.** Kemijska analiza malog zupčanika**Tablica 2** Kemijski sastav malog zupčanika dobiven EDS analizom

Kemijski element	Udio (%)
C	8.65
O	1.55
Cu	54.74
Zn	33.20
Pb	1.86

EDS detektorom dobivamo kemijski sastav oba zupčanika. Iz Tablica 1 zaključujemo da se radi o aluminijskoj leguri s malim sadržajem magnezija i silicija. Iz Tablice 2 vidljivo je da je manji zupčanik izrađen od mjed s malim sadržajem olova.

Provedena je i analiza kemijskog sastava prevlake na zubima velikog zupčanika s ciljem utvrđivanja uloge prevlake.



**Slika 50.** Kemijska analiza prevlake velikog zupčanika



**Tablica 3** Kemijski sastav prevlake velikog zupčanika dobiven EDS analizom

Kemijski element	Udio (%)
C	6.46
O	54.48
Al	32.48
Si	0.46
S	3.96
Cl	0.49
Ca	0.49
Cu	1.19

Prevlaka je legura aluminija i silicija. Veliki sadržaj kisika upućuje nas na mogućnost da je veliki zupčanik podvrgnut postupku enodizacije (eloksiranja) kako bi se povećala otpornost na koroziju i trošenje.

Ostali prisutni elementi možda su posljedica površine za eloksiranje kao i samog postupka eloksiranja.

## 2.5. Mjerenje tvrdoće

Za određivanje tvrdoće odabrana je metoda po Vickersu. Izvršena su po 2 mjerenja na svakom ispitnom uzorku uz pomoć tvrdomjera u Laboratoriju za ispitivanje mehaničkih svojstava. Korišteno je opterećenje od 1 kg odnosno HV1.



**Slika 51.** Tvrdomjer korišten za mjerenje tvrdoće

Kod Vickers metode indenter je četverostrana piramida s vršnim kutem između nasuprotnih stranica od 136 stupnjeva. Indenter ostavlja trag šuplje piramide na ispitnom uzorku, čija je baza kvadrat s dijagonalama  $d_1$  i  $d_2$ . [27]

Tvrdoća po Vickersu određuje se prema jednadžbi:

$$HV = 0,1891 \frac{F}{d^2}$$

gdje je:

$F$  [N]- pritisna sila

$d^2$  [mm]- srednja vrijednost dijagonala  $d_1$  i  $d_2$

**Tablica 4** Rezultati tvrdoće velikog zupčanika

Mjerenje	HV1	Srednja vrijednost
1.	112,8	114,6
2.	116,4	

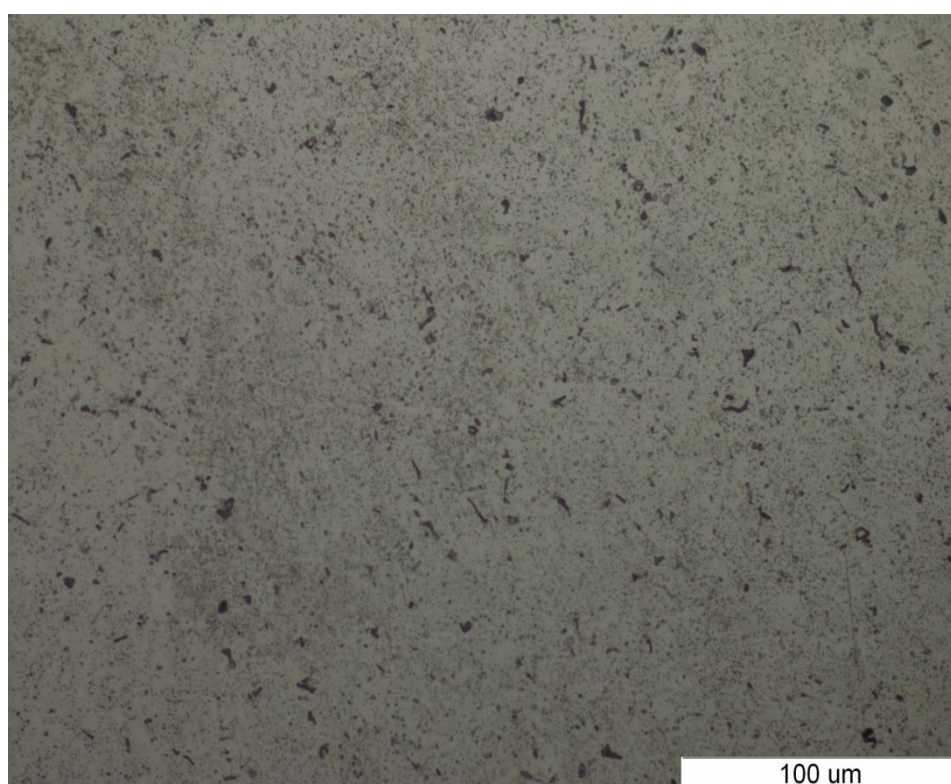
**Tablica 5** Rezultati tvrdoće malog zupčanika

Mjerenje	HV1	Srednja vrijednost
1.	128	126,5
2.	125	

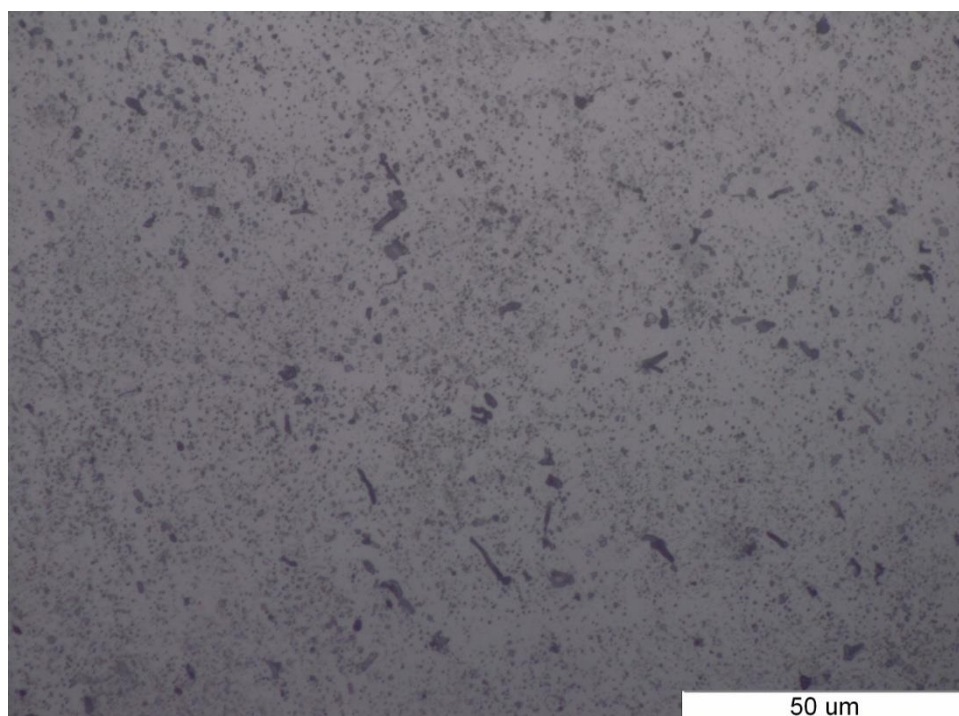
Iz očitanih vrijednosti tvrdoće za oba uzorka jasno je vidljivo da je manji zupčanik za nijansu tvrdi od velikog zupčanika. Nanošenjem prevlake taj odnos tvrdoća je vjerojatno promijenjen.

## 2.6. Metalografska analiza

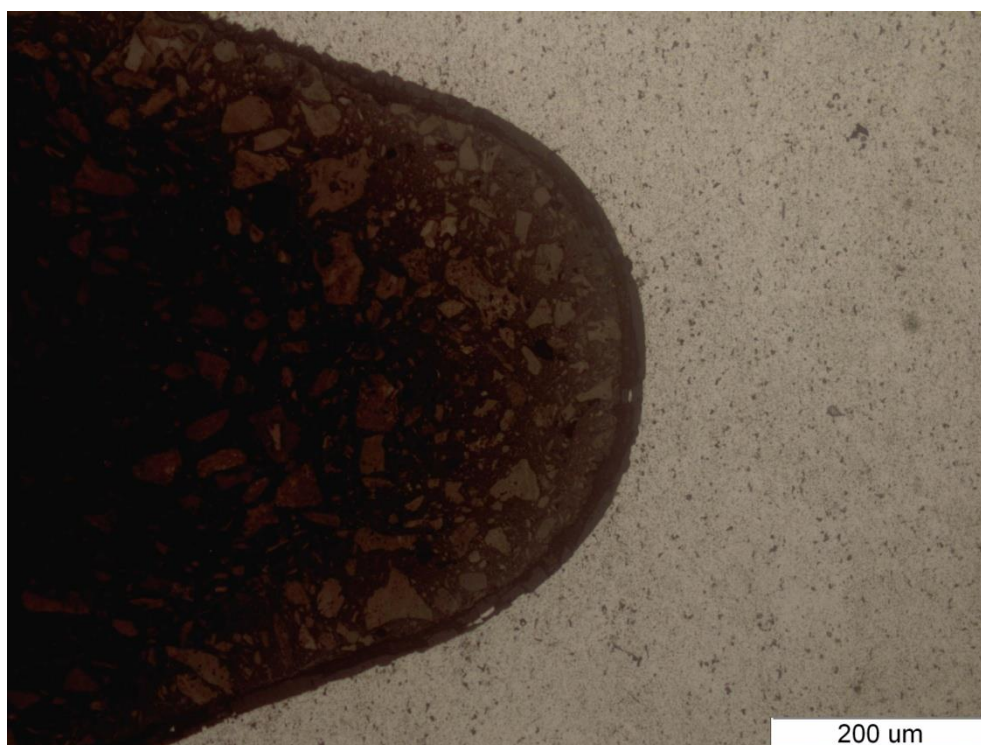
Pripremljen uzorak podvrgnut je metalografskoj analizi u Laboratoriju za metalografiju. Prije samog promatranja mikrostrukture na svjetlosnom mikroskopu Olympus GX51 uzorak je nagrižen u svrhu lakšeg raspoznavanja različitih faza. Oba uzorka su promatrana na središnjem dijelu pod povećanjem od 500 i 1000 puta. Aluminijski uzorak je također analiziran i uz korijen zuba pod povećanjem od 200 puta, na kojem je vidljiva crna prevlaka.



**Slika 52.** Mikrostruktura velikog zupčanika pod povećanjem od 500 puta

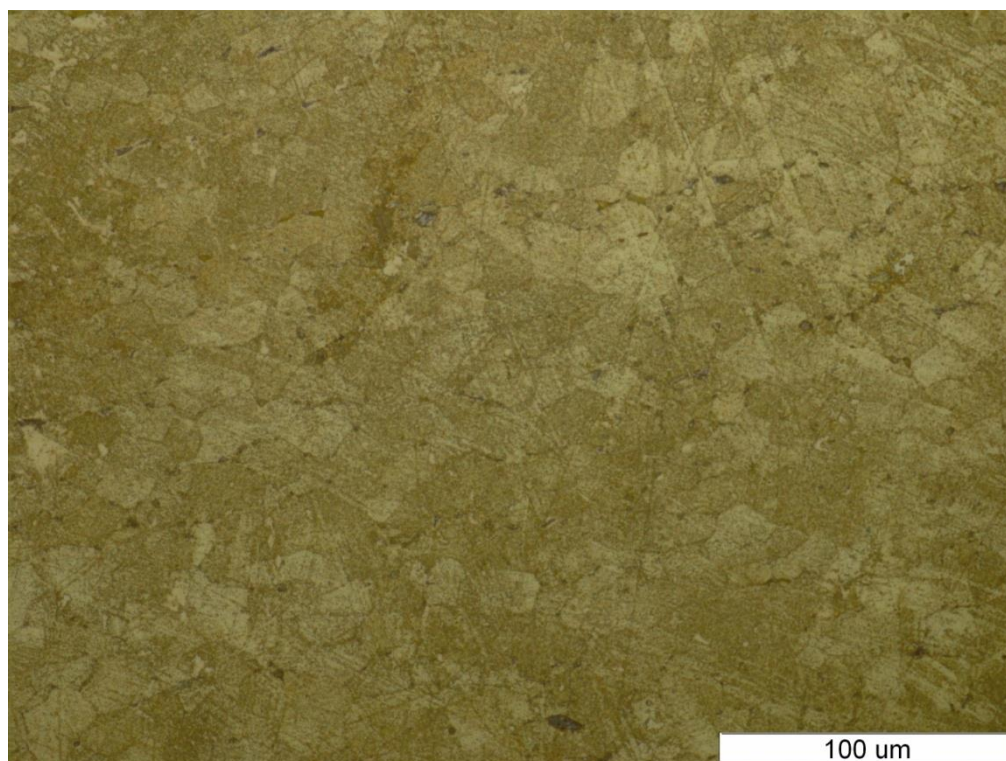


**Slika 53.** Mikrostruktura velikog zupčanika pod povećanjem od 1000 puta

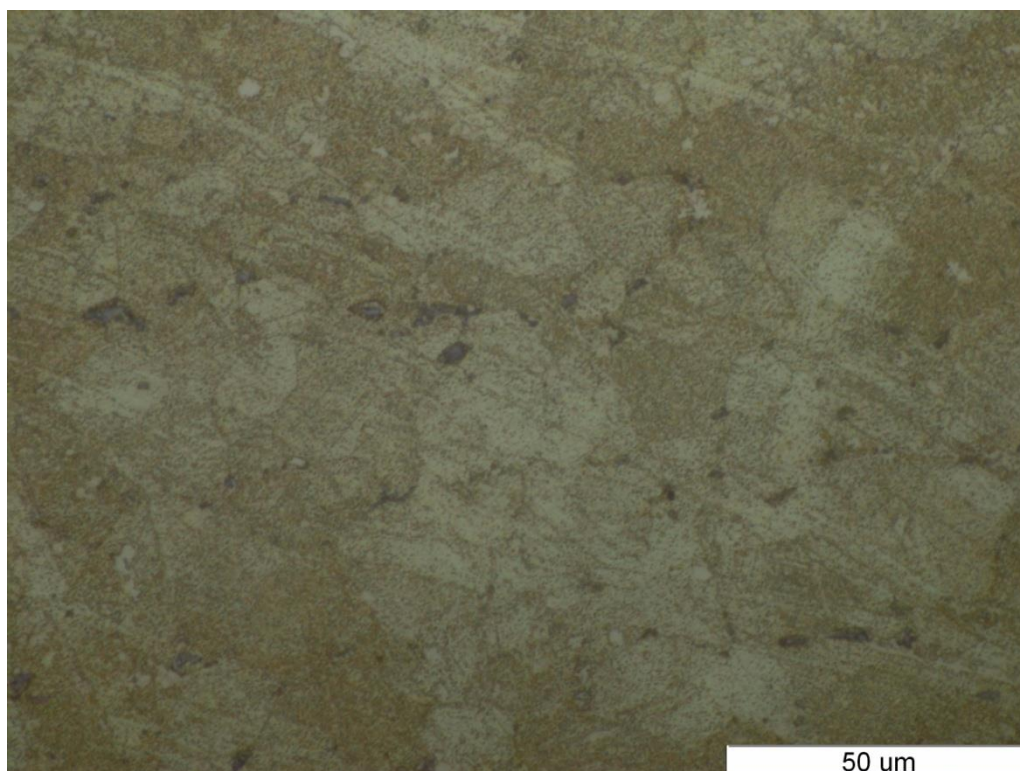


**Slika 54.** Mikrostruktura prevlake velikog zupčanika pod povećanjem od 200 puta





Slika 55. Mikrostruktura malog zupčanika pod povečanjem od 500 puta



**Slika 56.** Mikrostruktura malog zupčanika pod povečanjem od 1000 puta

Iz analize mikrostrukture većeg zupčanika vidljivo je da se struktura sastoji od  $\alpha$  kristala mješanca aluminija, dok su crne točkice vjerojatno precipitate  $Mg_2Si$ . [28]

Promatranjem strukture manjeg zupčanika i dobivenog kemijskog sastava, pretpostavljamo da se radi o  $\alpha$  mjedi. Crne točke su čisto olovo koje je dodano u svrhu povećanja obradivosti odvajanjem čestica kako bi se lakše oblikovao. [28]

### 3. ZAKLJUČAK

Na temelju provedenih ispitivanja nije utvrđen konkretan uzrok kvara jer je u vrlo kratkom roku došlo do značajnog trošenja oba zupčanika. Kemijska i metalografska analiza dovode do zaključka da se radi o materijalima koji nemaju dobru otpornost na trošenje i to sigurno nije bio primarni zahtjev pri izboru materijala zupčanika. Crna prevlaka na većem zupčanicu ako je i imala funkciju povećanja otpornosti na trošenje, nije tu funkciju obavila zbog slabe prionjivosti na osnovni materijal. Proizvođač navodi moguće uzroke kvara; nestručna instalacija opreme koja dovodi do nepredviđenog naprezanja motora koji upravljaju zupčanicima, udaranje ili pomicanje postolja za kameru ne služeći se kamera kontrolom. Korektivna mjera upućena proizvođaču je upotreba kompatibilnog para materijala sa većom otpornosti na trošenje kako bi se izbjegao prijevremeni kvar komponenti.

## 4. LITERATURA

- [1] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Camera\\_obscura](https://hr.wikipedia.org/wiki/Camera_obscura)
- [2] <https://fotografija.hr/poceci-fotografije-camera-obscura/>
- [3] <https://runningstills.wordpress.com/2012/05/31/cinema-and-light-projection-exploring-leonardos-last-supper/>
- [4] [https://en.wikipedia.org/wiki/Camera\\_lucida](https://en.wikipedia.org/wiki/Camera_lucida)
- [5] <http://webograd.tportal.hr/Miha29/medijskakultura/film>
- [6] <http://www.ec-hirondelles-herrlisheim.ac-strasbourg.fr/wp/?p=7440>
- [7] [https://en.wikipedia.org/wiki/Louis\\_Le\\_Prince](https://en.wikipedia.org/wiki/Louis_Le_Prince)
- [8] <https://en.wikipedia.org/wiki/Kinetoscope>
- [9] [http://www.earlycinema.com/pioneers/lumiere\\_bio.html](http://www.earlycinema.com/pioneers/lumiere_bio.html)
- [10] <http://precinemahistory.net/1895.htm>
- [11] <https://seeingourworldthroughalens.wordpress.com/history-of-travel-cameras/-aeroscope-picture-id90730361>
- [12] <https://en.wikipedia.org/wiki/Aeroscope>
- [13] <http://www.gettyimages.fi/detail/news-photo/patented-in-1910-by-the-polish-engineer-k-proszynski-the-news-photo/90730361#patented-in-1910-by-the-polish-engineer-k-proszynski-the-aeroscope-picture-id90730361>
- [14] [http://www.wikiwand.com/en/Documentary\\_film](http://www.wikiwand.com/en/Documentary_film)
- [15] [https://en.wikipedia.org/wiki/Mechanical\\_television](https://en.wikipedia.org/wiki/Mechanical_television)
- [16] <http://www.skinoutfit.info/else/first-television-ever-made-1934.coming>
- [17] [http://www.earlytelevision.org/Reitan/Color\\_Cameras.html](http://www.earlytelevision.org/Reitan/Color_Cameras.html)
- [18] <http://www.kingoftheroad.net/colorTV/TVcams-in-action.html>
- [19] <http://www.porta-jib.com/history.html>
- [20] <http://jimmyjib.com/triangle.html>
- [21] <http://lighthouse.co.th/equipment-items/super-techno-30/>



- [22] <https://lovelockcqeys.wordpress.com/2013/02/05/camera-shots/>
- [23] <http://www.paddyhanna.co.uk/gallery/>
- [24] <http://gobaddog.com/product/jimmy-jib-iii-with-operator-10-hour-day/>
- [25] [https://www.youtube.com/watch?v=G5D-\\_RiLFWQ&t=318s](https://www.youtube.com/watch?v=G5D-_RiLFWQ&t=318s)
- [26] [http://repozitorij.fsb.hr/2891/1/16\\_09\\_2014\\_ZAVRSNI\\_RAD\\_-\\_Simeg\\_%28konacna\\_verzija%29.pdf](http://repozitorij.fsb.hr/2891/1/16_09_2014_ZAVRSNI_RAD_-_Simeg_%28konacna_verzija%29.pdf)
- [27] [http://repozitorij.fsb.hr/494/1/16\\_02\\_2009\\_Zavrsni\\_rad\\_-\\_Odredivanje\\_tvrdoce\\_materijala\\_metodom\\_po\\_Vickersu\\_primjenom\\_razlicitih\\_opterecenja.pdf](http://repozitorij.fsb.hr/494/1/16_02_2009_Zavrsni_rad_-_Odredivanje_tvrdoce_materijala_metodom_po_Vickersu_primjenom_razlicitih_opterecenja.pdf)
- [28] T. Filetin, F. Kovačićek, J. Indof : Svojstva i primjena materijala, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2007.

## **5. PRILOZI**

1. CD-R disk